সরল
পদার্থ বিজ্ঞান

শ্রী চিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত

ক্যালকাটা বুক হাউস

Written strictly according to the syllabus of Board of Secondary Education. West Bengal, as an additional subject for Secondary Schools.
[*Vide Curriculum & Syllabus Vol. II dated May*, 1974]

সরল পদার্থ বিজ্ঞান

(ঐচ্ছিক)

[*For Classes IX & X of Secondary Schools*]

8

চিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত এম. এস্-সি.

কলিকাতা সিটি কলেজের পদার্থ বিজ্ঞানের প্রধান অধ্যাপক ; 'পদার্থ বিজ্ঞান', (উঃ মাঃ), 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞান' (Practical Physics) 'প্রাকৃতিক বিজ্ঞান' (IX & X), 'Additional Physics' (Madhyamik), 'Elements of Physical Science' (IX & X) প্রভৃতি গ্রন্থের লেখক।

৭০৩

ক্যালকাটা বুক হাউস
১/১, বঙ্কিম চ্যাটার্জি স্ট্রীট, কলিকাতা-৭০০০৭৩

প্রকাশক ঃ
শ্রীপরেশচন্দ্র ভাওয়াল
ক্যালকাটা বুক হাউস
১১, বঙ্কিম চ্যাটার্জি স্ট্রীট
কলিকাতা-৭০০০৭৩

জানুয়ারী ঃ ১৯৭৬
মে ঃ ১৯৭৭
সেপ্টেম্বর ঃ ১৯৭৯
পরিমার্জিত ও সংশোধিত সংস্করণ
মার্চ ঃ ১৯৮১
এপ্রিল ঃ ১৯৮২
পরিমার্জিত ও সংশোধিত সংস্করণ
নভেম্বর ঃ ১৯৮৩
সপ্তম সংস্করণ
জানুয়ারী ঃ ১৯৮৫
অষ্টম সংস্করণ
জানুয়ারী ঃ ১৯৮৮
পরিমার্জিত ও সংশোধিত
নবম সংস্করণ
এপ্রিল ঃ ১৯৮৯

মূল্য ঃ ত্রিশ টাকা মাত্র।

বাঁধাই ঃ এম. শর্মা বুক বাইণ্ডার্স

মুদ্রাকর ঃ
প্রেস্টিজ প্রিন্টার্স
২৪এ, বাগমারী রোড
কলিকাতা-৭০০০৫৪

নবম সংস্করণের ভূমিকা

সরল পদার্থ বিজ্ঞান বইয়ের নতুন সংস্করণ (নবম) প্রকাশিত হোল। এই সংস্করণ প্রস্তুতির সুযোগে এবং গত কয়েক বছরের পরীক্ষার প্রশ্নপত্রের পরিপ্রেক্ষিতে বইটি আদ্যোপান্ত বিচার করে দেখা হয়েছে এবং অনেক প্রয়োজনীয় তথ্য, করা অংক, উদাহরণ প্রভৃতির সংযোজনে বইয়ের উপযোগিতা অনেকগুণ বৃদ্ধি করা হয়েছে। নিঃসন্দেহে বলা যায় যে বর্তমান বইটি পাঠক্রমের চতুঃসীমার মধ্যে থেকে একটি স্বয়ংসম্পূর্ণ গ্রন্থ।

বর্তমান সংস্করণে প্রত্যেক পরিচ্ছেদের শেষে প্রদত্ত 'প্রশ্নাবলী'র প্রতি ছাত্র-ছাত্রীদের দৃষ্টি আকর্ষণ করছি। নানা ধরনের প্রশ্ন ও গাণিতিক সমস্যাযুক্ত প্রশ্নাবলী ছাত্র-ছাত্রীদের পরীক্ষার প্রস্তুতি হিসাবে বিশেষ সহায়ক হবে বলে মনে করি।

আশাকরি এই পরিমার্জিত ও সংশোধিত সংস্করণ ছাত্রছাত্রীদের ও শিক্ষক-মহাশয়দের কাছে পূর্বাপেক্ষা বেশী উপযোগী বলে মনে হবে। ইতি—

পদার্থ বিজ্ঞান বিভাগ
সিটি কলেজ
জানুয়ারী, ১৯৮৯

চিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত

প্রথম মুদ্রণের ভূমিকা

১৯৬৫ সালে যে সমস্ত ছাত্র-ছাত্রী মাধ্যমিক পরীক্ষা দিবে তাহাদের ক্ষেত্রে পাঠক্রমের একটি গুরুত্বপূর্ণ পরিবর্তন করা হইয়াছে। ঐচ্ছিক বিষয় হিসাবে পদার্থ বিজ্ঞান, রসায়ন বিজ্ঞান ইত্যাদি প্রত্যেকটিকেই ১০০ নম্বরের পত্র হিসাবে গণ্য করা হইয়াছে এবং ঐ সমস্ত বিষয়ের পাঠ্যসূচীরও আমূল পরিবর্তন করা হইয়াছে। কিন্তু এ পর্যন্ত ঐ পাঠ্যসূচী অনুযায়ী পদার্থ বিজ্ঞানের কোন পুস্তক লেখা হয় নাই। ফলে, ছাত্র-ছাত্রী এবং শিক্ষক-শিক্ষিকারা বিশেষ অসুবিধা ভোগ করিতেছেন; কারণ, তাঁহাদের পক্ষে উচ্চ-মাধ্যমিক পাঠ্যক্রমের অথবা অন্যান্য ঐ ধরনের স্ফীত কলেবরের পুস্তকেরই শরণাপন্ন হইতে হইতেছে। বর্তমান গ্রন্থ এই অসুবিধা দূরীকরণের উদ্দেশ্য ক্ষুদ্র প্রচেষ্টা।

* * * *

বর্তমান গ্রন্থের লেখকের উচ্চ-মাধ্যমিক পাঠক্রমের উপর লিখিত "পদার্থ বিজ্ঞান" গ্রন্থের সমাদর ইতিমধ্যেই হইয়াছে। কিছুটা ঐ পুস্তকের সাফল্যের দ্বারা উৎসাহিত হইয়া এবং কিছুটা পাঠক্রম অনুযায়ী পুস্তকের অভাব দূর করিবার জন্য, এই পুস্তক লিখিবার প্রয়াসী হইয়াছি। আশা করি ছাত্র-ছাত্রী এবং শিক্ষক-শিক্ষিকাগণের নিকট এই গ্রন্থেরও অনুরূপ সমাদর হইবে।

পদার্থ বিজ্ঞান বিভাগ
সিটি কলেজ, কলিকাতা
ডিসেম্বর, ১৯৬৩

চিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত

SYLLABUS

1. General ideas :

(i) Units of length, mass and time. Measurement of length ; principle of vernier; Screw gauge. Measurement of volume (from dimensions and by displacement of liquid). Use of stop clock. Use of spring balance and ordinary beam balance (up to a decigram only) to be practised in the laboratory. (2)

(ii) Concept and definition of density and specific gravity of a solid, liquid and gas. (2)

(iii) Concept or force in terms of weight and of pressure. (1)

(iv) Simple experimental study of fluid pressure, to show that pressure depends on h and ρ and may be expressed as lb/ft^2 or $gm/cm.^2$ Pascal's law. Hydraulic press—it multiples force but not pressure. Archimedes' principle; Buoyancy. Floating bodies (no numerical problem). Common hydrometer (description and method of use only). Application of Archimedes' principle for determining the volume and specific gravity of a solid (heavier than water and insoluble). (5)

(v) Atmospheric pressure (simple experiments to demonstrate) Simple barometer ; Boyle's law, Syringe, Vacuum pump ; Compression pump; Common (water) pump. (3)

(vi) Velocity ; momentum ; acceleration ; $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$ (graphically), Newton's laws of motion ; $P=mf$; Units of force—dyne, poundal, gm. wt., lb. wt. (7)

(vii) The Law of Universal Gravitation (statement only) Gravity, falling bodies (simple problems only) (2)

(viii) Concepts of Work Energy and Power. $W=P.S.$; Units of work and power, erg, Joule, foot-pound. Watt, Kilowatt, hoi se-power. Transformation of energy (simple examples), Principle of conservation of energy (general acquaintance).

2. Heat :

(i) Heat and temperature. Centigrade and Fahrenheit scales, Mercury—in—glass thermometer (description and principle only) Clinical thermometer.

(ii) Expansions of solids, co-efficient of expansion. Expansion of liquids—real and apparent ; anomalous expansion of water.

Expansion of gases. Charles' law ; pressure co-efficient; idea of—absolute temperature (Description of experiments for measuring co-efficients not necessary). (5)

(iii) Units of heat—calorie, B. Th. U. Specific heat $H=m.\ s.\ t.$ Heat lost=Heat gained; Simple problems. (3)

(iv) Change of state, (*a*) Melting and freezing; (*b*) Liquid to vapour (evaporation and boiling, condensation). Effects of pressure on boiling. Change of volume accompanying change of state. Idea of latent heat—its definition. (Determination of latent heat excluded, but simple numerical problems involving latent heat included). Cooling by evaporation. (5)

(v) Water vapour in air—Pressure of saturated and unsaturated water vapour. Dew point. Relative humidity (determination excluded). (3)

(vi) Conduction, convection and radiation of heat. Use of good and bad conductors. Vacuum flask. (2)

3. Light :

(i) Rectilinear propagation of light. Pinhole camera; shadows; eclipses. (2)

(ii) Reflection at a plane surface—laws. Formation of image by a plane mirror. Characteristics of the image (virtual, equal in size to the object, laterally inverted) (Problems on moving objects and on moving mirror may be avoided). (5)

(iii) Refraction at a plane surface—laws. Refractive index, total internal reflection. Simple illustrations with explanation of the above phenomena. Mirage. (3)

(iv) Meaning of focal length and magnification with respect to a converging lens: Formation of real images. Determination of focal length (*a*) using a distant object, (*b*) by u—v method. Distinction between real and virtual images. (4)

(v) Analysis and synthesis of light. Colours of bodies. (1)

4. Magnetism :

(i) Natural and artificial magnets. Magnetic poles. Attraction and repulsion, Magnetic induction. Making magnets. (2)

(ii) Behaviour of the Earth as a magnet. Marine's compass. (1)

5. **Electricity :**

(i) Electrification by friction. Two kinds of electricity. Electrons. Conductors and insulators. Pithball and gold-leaf electroscopes. Electrification by induction—simple facts only. Simple explanation of thunder and lightning ; protection from lightning. (3)

(ii) Simple cell. Local action and polarisation, Leclanche and dry cells. Lead accumulators (description only). (3)

(iii) Elementary study of (*a*) Magnetic effect of electric current, (*b*) Action of magnet on current, (*c*) Galvanometer as detector of current (Principle only). Principle of electromagnet. Electric bell. (4)

(iv) Elementary study of heating effect of current. Electric heating in the home (Electric stove, Electric kettle, Electric iron. Electric filment lamp). (Description only). No numerical calculation need be done; but essence of Joule's law should be taught). (2)

(v) Chemical effect of current; its industrial applications (*e.g.*, electroplating, purification of metals, etc.) (Faraday's law need not be dealt with as such). (2)

Fundamental principles should be carefully emphasized.

সূচীপত্র

আলোক বিজ্ঞান

চুম্বক-বিজ্ঞান

তড়িৎ-বিজ্ঞান

সরল পদার্থ বিজ্ঞান

সূচনা

পদার্থ বিজ্ঞানের স্বরূপ ঃ

এই পৃথিবী বস্তুময়। আমাদের চতুর্দিকে চোখ ফিরাইলে বহু রকম বস্তুর সন্ধান মেলে। টেবিল, চেয়ার, কাগজ, কলম ইত্যাদি যে-সমস্ত দ্রব্য আমরা ইন্দ্রিয় দ্বারা বুঝিতে পারি এবং যাহার ওজন আছে তাহাই বস্তু (matter); এই সমস্ত বস্তুর সৃষ্টি কি করিয়া হইল, ইহাদের গঠনপ্রণালী, আচরণ বা উপযোগিতা কিরূপ এই সম্বন্ধে কৌতূহলের উদ্রেক হওয়া খুবই স্বাভাবিক। তাই, পৃথিবীর আদিমতম যুগ হইতে মানুষের অনুসন্ধানী মন এই সম্বন্ধে প্রশ্ন করিয়াছে এবং ইহার জবাব খুঁজিয়াছে।

বস্তু ছাড়া আর একটি জিনিসের প্রতি মানুষের দৃষ্টি পড়িয়াছিল। তাহা হইল শক্তি (energy)। এই শক্তি আছে বলিয়া জগৎ চলিতেছে ; শক্তির অভাবে জগৎ স্থাণুবৎ। শক্তি এবং ইহার বিভিন্ন রূপের সহিত আমাদের পরিচয় বস্তুর মাধ্যমে। যেমন, তাপ একপ্রকার শক্তি। কিন্তু তাপকে আলাদা করিয়া কোন আকার বা রং দিয়া আমাদের ধরা-ছোঁয়ার ভিতর আনা সম্ভব নয়। কিন্তু কোন বস্তুর তাপমাত্রার (temperature) পরিবর্তন লক্ষ্য করিয়া অথবা উহার প্রসারণ (expansion) লক্ষ্য করিয়া আমরা বস্তুতে তাপশক্তির অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। এইরূপ, বিদ্যুৎ আর এক প্রকারের শক্তি। বিদ্যুৎকে বুঝিতে হইলে কোন বস্তুতে উহার প্রবাহ ঘটাইয়া তাহার ফলাফল লক্ষ্য করিতে হইবে। যেমন, বৈদ্যুতিক পাখায় যখন প্রবাহ চলে তখন পাখা ঘোরে এবং তখনই আমরা বৈদ্যুতিক শক্তির অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। কাজেই শক্তির পরিচয় পাইতে হইলে বস্তুর সাহায্য প্রয়োজন।

বস্তু এবং শক্তির লীলাক্ষেত্র এই যে বিরাট এবং বিচিত্র জগৎ---এই জগতের রহস্য উদ্‌ঘাটন এবং বহুবিধ প্রাকৃতিক ঘটনা সম্বন্ধে প্রকৃত জ্ঞানলাভ—ইহাই হইল পদার্থ বিজ্ঞানের স্বরূপ।

পদার্থ বিজ্ঞানের বিভিন্ন বিভাগ ঃ

বহুপূর্বে সমস্ত প্রাকৃতিক বিজ্ঞান, যথা---রসায়ন, প্রাণিবিদ্যা, উদ্ভিদ্‌বিদ্যা, জ্যোতির্বিদ্যা প্রভৃতি সমস্তই পদার্থ বিজ্ঞানের অন্তর্গত ছিল। কিন্তু বিজ্ঞানীর কর্মপ্রচেষ্টায় যখন প্রত্যেকটি শাখা সম্বন্ধে মানুষের জ্ঞানের পরিধি বাড়িতে লাগিল তখন পদার্থ বিজ্ঞান হইতে ঐগুলিকে পৃথক্ করিবার প্রয়োজন অনুভূত হইল।

এখন, বস্তু এবং শক্তি সম্বন্ধে চর্চা করাই পদার্থ বিজ্ঞানের কাজ। অধ্যয়নের সুবিধার জন্য পদার্থ বিজ্ঞানকে নিম্নলিখিত ছয় ভাগে ভাগ করা হয় ঃ

(1) **সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান** (General Physics) (2) **শব্দ-বিজ্ঞান** (Sound), (3) **তাপ-বিজ্ঞান** (Heat), (4) **আলোক-বিজ্ঞান** (Light), (5) **চুম্বক-বিজ্ঞান** (Magnetism) এবং (6) **তড়িৎ-বিজ্ঞান** (Electricity)।

সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান

[General Physics]

প্রথম পরিচ্ছেদ

মাপের পদ্ধতি ও মাপের একক

1-1. প্রাকৃতিক রাশি (Physical quantities) :

রাশি (quantity) বলিতে এমন জিনিস বুঝায় যাহার পরিমাপ সম্ভব ; যেমন, একটি কাঠের টুকরার ওজন আছে আমরা বুঝিতে পারি এবং স্প্রিং তুলা দ্বারা (spring balance) সেই ওজন মাপিতে পারি। কাজেই বস্তুর ওজনকে বলা যায় একটি রাশি। পদার্থ বিজ্ঞানের অধ্যয়নকালে এইরূপ বহু রাশির কথা আমরা জানিতে পারি। যেমন—ভর, দৈর্ঘ্য, গতিবেগ, ত্বরণ (acceleration), তড়িৎ-স্রোত ইত্যাদি। পদার্থ বিজ্ঞানের অন্তর্গত এই রাশিগুলিকে প্রাকৃতিক রাশি বলা হয়।

সংজ্ঞা : পরিমাপযোগ্য যে-কোন প্রাকৃতিক বিষয়কেই প্রাকৃতিক রাশি বলা হয়। প্রাকৃতিক রাশিকে দুই ভাগে ভাগ করা হইয়াছে :

(1) **স্কেলার** (Scalar) রাশি এবং (2) **ভেক্টর** (Vector) রাশি। যে-সমস্ত রাশির শুধু মান (magnitude) আছে কিন্তু দিক্‌নির্দেশের (direction) প্রয়োজন নাই তাহাদের স্কেলার রাশি বলে। যেমন, বস্তুর ভর। বস্তুর ভর বুঝাইতে গেলে কতখানি ভর শুধু তাহা বলিলেই হয়। দিক্‌নির্দেশের কোন অর্থ নাই—সেজন্য ভর একটি স্কেলার রাশি। তেমনি সময়, আয়তন প্রভৃতি স্কেলার রাশির উদাহরণ।

যে-সমস্ত রাশির মান এবং দিক্‌নির্দেশ দুয়েরই প্রয়োজন তাহাকে বলা হয় ভেক্টর রাশি। বস্তুর ওজন একটি ভেক্টর রাশি। কারণ ওজন বলিতে আমরা বুঝি,—যে-বলের দ্বারা বস্তুটি পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে আকর্ষিত হইতেছে তাহা। কাজেই ওজনের একটি নির্দিষ্ট দিক্ (direction) আছে। তেমনি, বল, বেগ (velocity) প্রভৃতি ভেক্টর রাশির উদাহরণ।

1-2. মাপের একক (Units of measurement) :

কোন একটি রাশির পরিমাপ বুঝাইতে গেলে তাহার একটি সুবিধাজনক পরিমাপকে নির্দিষ্ট মান (standard) ধরিয়া সমপ্রকার রাশির মাপ লওয়া হয়। ঐ নির্দিষ্ট মানকে মাপের একক (unit) বলা হয়। যেমন, যদি বলা হয় একটি ঘর 20 ফুট লম্বা তাহা হইলে সহজেই ঘরটির দৈর্ঘ্য সম্বন্ধে ধারণা হয়। এখানে

দৈর্ঘ্য একটি রাশি এবং ইহার পরিমাপের জন্য 'ফুট'-কে একক হিসাবে ধরা হইয়াছে।

যদি বলা হয় আমি অনেক চাউল কিনিলাম, তাহা হইলে কতটা চাউল সে-সম্বন্ধে কিছুই বোঝা যায় না। কিন্তু যদি বলি 20 কিলোগ্রাম চাউল কিনিলাম, তাহা হইলে তৎক্ষণাৎ চাউলের পরিমাণ বোঝা যায়। এখানে কিলোগ্রামকে একক হিসাবে ব্যবহার করিয়া চাউলের ভরকে (mass) বুঝানো হইল।

তেমনি, যদি বলা হয় ট্রেন বোম্বাই হইতে কলিকাতা পৌঁছাইতে অনেক সময় লইতেছে, তাহা হইলে সময় সম্বন্ধে সঠিক কিছু বলা হইল না। সঠিক বলিতে হইলে বলিতে হইবে 30 ঘন্টা কি 40 ঘন্টা ইত্যাদি। অর্থাৎ সময়ের পরিমাপ করিতে একক হিসাবে ঘন্টাকে ব্যবহার করা হইল।

এইভাবে দেখা যায় যে, প্রত্যেক রাশি পরিমাপের জন্য একটি এককের প্রয়োজন। তাহা হইলে প্রশ্ন উঠিবে, পদার্থ বিজ্ঞানে ত' হাজার হাজার রাশির কথা আছে। উহাদের কি হাজার হাজার একক আছে? কিন্তু সৌভাগ্যক্রমে দেখা গিয়াছে রাশি অসংখ্য হইলেও মাত্র তিনটি রাশির একক ঠিক করিয়া লইলে বাকী সব রাশির একক উহা হইতে পাওয়া যাইবে। এই তিনটি রাশি হইল, (1) **দৈর্ঘ্য**, (2) **ভর** এবং (3) **সময়**। ইহাদের একক-কে বলা হয় প্রাথমিক (fundamental) বা মূল একক। এই তিনটি রাশির একক পরস্পরের উপর নির্ভরশীল নহে। অন্যান্য রাশির একক যাহা প্রাথমিক একক হইতে পাওয়া যায় তাহাদের বলা হয় লব্ধ (derived) একক।

1-3. এককের বিভিন্ন পদ্ধতি (Different systems of units) ঃ

উপরের তিনটি প্রাথমিক একককে প্রকাশ করিবার দুইটি পদ্ধতি আছে।

(1) **সি. জি. এস্.** অথবা মেট্রিক পদ্ধতি (C. G. S. or French or Metric system)।

এখানে, 'সি' শব্দটি বুঝাইতেছে সেন্টিমিটার →দৈর্ঘ্যের একক।
'জি' ,, ,, গ্রাম →ভরের একক।
'এস্' ,, ,, সেকেণ্ড →সময়ের একক।

(2) **এফ. পি. এস্.** অথবা বৃটিশ পদ্ধতি (F.P.S. or British system) ঃ
এখানে 'এফ্' শব্দটি বুঝাইতেছে ফুট →দৈর্ঘ্যের একক।
'পি' ,, ,, পাউণ্ড →ভরের একক।
'এস্' ,, ,, সেকেণ্ড →সময়ের একক।
এই পদ্ধতি ব্যবহৃত হয় ইংলণ্ডে।

(3) উপরিউক্ত দুইটি বিশেষ প্রচলিত পদ্ধতি ছাড়া আর একটি পদ্ধতি আজকাল ব্যবহৃত হইতেছে। ইহাকে এম্. কে. এস্. (M. K. S.) পদ্ধতি বলে। এই পদ্ধতি অনুযায়ী

'এম্' শব্দটি বুঝাইতেছে মিটার →দৈর্ঘ্যের একক।
'কে' ,, ,, কিলোগ্রাম →ভরের একক।
'এস্' ,, ,, সেকেণ্ড →সময়ের একক।

পরিমাপের এই বিশেষ পদ্ধতিটি সম্প্রতি খুবই ব্যবহৃত হইতেছে। ইহার কয়েকটি বিশেষ সুবিধা আছে।

1-4. দৈর্ঘ্যের একক ঃ

সেন্টিমিটার ঃ সি.জি.এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী দৈর্ঘ্যের একক হইল সেন্টিমিটার।

ফ্রান্সের আন্তর্জাতিক ব্যুরো অফ ওয়েট্স্ অ্যাণ্ড মেজারস্-এ (International Bureau of Weights & Measures) রক্ষিত একটি প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম দণ্ডের (যাহার তাপমাত্রা 0° সেলসিয়াস) উপর দুইটি নির্দিষ্ট দাগের অন্তর্বর্তী দূরত্বকে বলা হয় **মিটার** (Metre)। সেন্টিমিটার হইল মিটারের একশত ভাগের একভাগ। ছোট দৈর্ঘ্য বা খুব বড় দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য সেন্টিমিটারের ভগ্নাংশ এবং গুণিতাংশ করা হইয়াছে। নিম্নে তাহার হিসাব দেওয়া হইল।

10 মিলিমিটার [মি. মি.] (m.m.) =1 সেন্টিমিটার [সে. মি.] (c.m)
10 সেন্টিমিটার =1 ডেসিমিটার
10 ডেসিমিটার =1 মিটার (মি.) (m.)
10 মিটার =1 ডেকামিটার
10 ডেকামিটার =1 হেক্টোমিটার
10 হেক্টোমিটার =1 কিলোমিটার (কি.মি.) (km.)

মিটার ঃ এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক মিটার।

ফুট ঃ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী দৈর্ঘ্যের একক হইল ফুট।

লণ্ডনের বৃটিশ এক্সচেকারের (British Exchequer) অফিসে রক্ষিত একটি ব্রোঞ্জ দণ্ডের উপর (যাহার তাপমাত্রা হইল 62° ফারেনহাইট) দুইটি নির্দিষ্ট দাগের অন্তর্বর্তী দূরত্বকে বলা হয় গজ। ফুট এক গজের তিন ভাগের এক ভাগ। ছোট ও বড় দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য ফুটের যে ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ করা হইয়াছে, তাহা এইরূপ ঃ---

1 মাইল=1760 গজ
1 গজ=3 ফুট
1 ফুট=12 ইঞ্চি

ইহা ছাড়া 'ফার্লং' (Furlong) নামক একটি এককও ব্যবহৃত হয়।

1 ফার্লং=220 গজ

8 ফার্লং=1 মাইল

খুব ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য পরিমাপের ক্ষেত্রে প্রায়ই 'মাইক্রন' এবং 'অ্যাংস্ট্রম' নামে দুটি এককের প্রচলন আছে। 1 মাইক্রন (μ উচ্চারণ মিউ)=এক সেন্টিমিটারের $\frac{1}{10^4}$ অংশ এবং 1 অ্যাংস্ট্রম (Å)=এক সেন্টিমিটারে $\frac{1}{10^8}$ অংশ।

দৈর্ঘ্যের এককের দুই পদ্ধতির পারস্পরিক সম্বন্ধ ঃ দৈর্ঘ্য প্রকাশের যে সি. জি. এস এবং এফ্. পি. এস্ এককের কথা বলা হইল তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ এইরূপ।

1 ইঞ্চি=2·54 সেন্টিমিটার (সে. মি.)

1 ফুট=30·48 ,, (প্রায়)

1 গজ=3 ফুট=91·44 সেন্টিমিটার

$=\frac{91\cdot44}{100}$ মিটার=0·9144 মিটার।

অথবা, 1 সেন্টিমিটার=0·3937 ইঞ্চি=0·0328 ফুট।

1 মিটার =1·09363 গজ।

1 কিলোমিটার≡0·621 মাইল।

1-5. ক্ষেত্রফল ও আয়তনের একক (Units of area and volume) —**(লব্ধ একক) ঃ**

ক্ষেত্রফল ও আয়তনের একক আমরা দৈর্ঘ্যের একক হইতে গঠন করিতে পারি। এই কারণে এই দুইটি রাশির একক-কে লব্ধ একক বলা হইবে।

বর্গক্ষেত্রের একক ঃ যে বর্গক্ষেত্রের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ উভয়ই এক সেন্টিমিটার, উহার ক্ষেত্রফল হইল সি. জি. এস্ পদ্ধতি অনুযায়ী বর্গক্ষেত্রের একক এবং উহার নাম এক বর্গ সেন্টিমিটার (1 sq. cm.)।

তেমনি এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী বর্গক্ষেত্রের একক হইল এক বর্গফুট (1 sq. ft) এবং এম্. কে. এস্ পদ্ধতিতে বর্গক্ষেত্রের একক হইবে বর্গমিটার (1 sq. metre)

আয়তনের একক ঃ যে ঘন আয়তনের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা প্রত্যেকটি 1 সেন্টিমিটার, উহার আয়তনকে সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী আয়তনের একক বলা হয়। ইহার নাম এক ঘন সেন্টিমিটার (1 cubic-centimeter বা 1 c.c.)।

তেমনি, যে ঘন আয়তনের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা প্রত্যেকটি 1 ফুট, উহার আয়তনকে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী আয়তনের একক ধরা হয়। ইহাকে বলা হয় এক ঘন ফুট (1 cubic foot অথবা 1 cu. ft.)।

এম্. কে. এস্ পদ্ধতিতে আয়তনের একক এক ঘন মিটার (1 cu. metre)

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে **'লিটার'** (litre) নামক আর একটি এককের দ্বারা আয়তনকে প্রকাশ করা হয়। বিশেষত তরল পদার্থের বেলায় এই একক ব্যবহৃত হয়। 1 লিটার=1000 ঘন সেন্টিমিটার।

তেমনি, এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে তরলের আয়তন প্রকাশ করিবার জন্য **'গ্যালন'** (gallon) একক ব্যবহৃত হয়।

1 গ্যালন=62°F তাপমাত্রায় 10 lb জলের আয়তন।

মনে রাখিবে, 1 গ্যালন=4·54 লিটার।

1-6. ভরের একক ঃ

সংজ্ঞা ঃ বস্তুর ভর বলিতে ঐ বস্তুতে কতটা পরিমাণ জড় পদার্থ (matter) আছে তাহাই বুঝায়। যেমন, একটি লোহার বলে যতখানি লোহা আছে তাহাই বলটির ভর। সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুসারে ভরের একক হইল **গ্রাম**। প্যারিসে রক্ষিত একটি প্ল্যাটিনাম ইরিডিয়াম খণ্ডের ভরকে ধরা হয় 1 **কিলোগ্রাম**। গ্রাম এক কিলোগ্রামের হাজার ভাগের এক ভাগ।

সাধারণভাবে এক ঘন সেন্টিমিটার জলকে 4° সেলসিয়াস তাপমাত্রায় রাখিলে উহার ভরকে এক গ্রাম ধরা হয়।

নিম্নে গ্রামের ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ দেওয়া হইল ঃ

10 মিলিগ্রাম (mg.)=1 সেন্টিগ্রাম

10 সেন্টিগ্রাম =1 ডেসিগ্রাম

10 ডেসিগ্রাম =1 গ্রাম (gm)

10 গ্রাম =1 ডেকাগ্রাম

10 ডেকাগ্রাম =1 হেক্টোগ্রাম

10 হেক্টোগ্রাম =1 কিলোগ্রাম (kg.)

কিলোগ্রাম ঃ এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক কিলোগ্রাম।

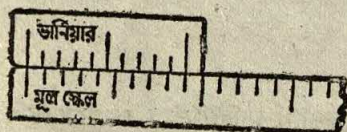
এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী ভরের একক হইল পাউণ্ড (lb)।

ওয়েস্টমিনস্টারের স্টাণ্ডার্ড অফিসে রক্ষিত একখণ্ড প্ল্যাটিনামের ভরকে এক পাউণ্ড ধরা হয়।

স্থলে B প্রান্তের পাঠ লইতে গেলে চোখের আন্দাজের (eye-estimation) সাহায্যে 1 মিলিমিটারকে দশ ভাগে ভাগ করিয়া দেখিতে হইবে এবং ঐ হিসাবে B-প্রান্তের পাঠ লইতে হইবে। ধরা যাউক, ঐ হিসাবমত B-প্রান্তের পাঠ 8·99 সে. মি.। তাহা হইলে, AB লাইনের দৈর্ঘ্য=B-প্রান্তের পাঠ−A প্রান্তের পাঠ=8·99−1=7·99 সে.মি.।

এইরূপ আরও কয়েকবার পাঠ লইয়া উহার গড় বাহির করিলে AB লাইনের দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে।

1-10. ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier scale) ঃ

এই যন্ত্র ফরাসী গণিতবিদ্ পি. ভার্নিয়ার আবিষ্কার করেন। ইহা দ্বারা দৈর্ঘ্যের সূক্ষ্মতর মাপ নির্ভুলভাবে করা যায়। মিটার স্কেল দ্বারা মিলিমিটারের ক্ষুদ্র অংশ পাঠ করিতে চোখের আন্দাজ (eye-estimation) কাজে লাগাইয়া পাঠ লইতে হয়, তাহা আগেই বলা হইয়াছে। ইহাতে ভুল হইতে পারে। ঐ ভুল ভার্নিয়ার স্কেল দ্বারা দূর করা যায়। 3নং চিত্রে একটি ভার্নিয়ার স্কেল দেখানো হইয়াছে। ইহাতে মূল স্কেলের (main scale) গায়ে আর একটি ক্ষুদ্র স্কেল লাগানো থাকে। উহাকেই ভার্নিয়ার বলে। ভার্নিয়ার মূল স্কেলের গা বাহিয়া দক্ষিণে বা বামে সরিতে পারে। ভার্নিয়ার স্কেলে যে ছোট ঘরগুলি থাকে তাহা মূল স্কেলের একটি ছোট ঘরের (অর্থাৎ 1 মি. মি) চাইতে কিছু ছোট। ছবিতে দেখা যাইতেছে যে ভার্নিয়ারের 10 ঘর মূল স্কেলের 9 ঘর অর্থাৎ 9 মি. মি. এর সমান। সাধারণত ভার্নিয়ারের এই রকম ভাগই থাকে। এই ভার্নিয়ারের সাহায্যে কোন দৈর্ঘ্য মাপিতে গেলে প্রথমে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক (vernier constant) বাহির করিতে হইবে।

ভার্নিয়ার স্কেল
চিত্র নং 3

ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক ঃ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক ঘর এবং ভার্নিয়ার স্কেলের এক ঘরের অন্তরফলকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক বলা হয়। ইহার দ্বারা এক মিলি-মিটারের ক্ষুদ্রতর অংশকে নির্ভুলভাবে মাপা সম্ভব। 3নং চিত্রে বোঝা যাইতেছে যে,

10 ভার্নিয়ার ঘর=মূল স্কেলের 9 ঘর

∴ 1 ভার্নিয়ার ঘর=মূল স্কেলের $\frac{9}{10}$ ঘর=$\frac{9}{10}\times 1=\frac{9}{10}$ মি. মি.

[1 মূল স্কেলঘর=1 m. m.]

সুতরাং ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক=$(1-\frac{9}{10})$ মি. মি.=$\frac{1}{10}$ মি. মি.=·01 সে. মি.

কাজেই দেখা যাইতেছে, উপরিউক্ত ভার্নিয়ার দ্বারা সব চাইতে ক্ষুদ্রতম

যে-দৈর্ঘ্য মাপা যাইবে তাহা হইল 1 সেন্টিমিটারের 100 ভাগের 1 ভাগ অথবা 1 মি. মি.-এর 10 ভাগের 1 ভাগ।

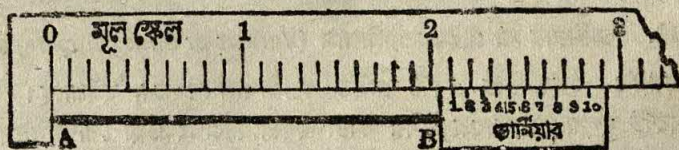
[ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্কের সাধারণ সূত্র (general formula) নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যাইতে পারে ঃ—

মনে কর, ভার্নিয়ারের 'm' ঘর=মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম $(m-1)$ ঘর

কাজেই, ভার্নিয়ারের 1 ঘর=মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম $\frac{m-1}{m}$ ঘর

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক $=\left(1-\frac{m-1}{m}\right)\times$ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর

$=\frac{1}{m}\times$ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর।]

ভার্নিয়ারের ব্যবহার ঃ মনে কর, AB লাইনের দৈর্ঘ্য ভার্নিয়ারের সাহায্যে মাপিতে হইবে। মূল স্কেলের 0 দাগ A প্রান্তের সহিত মিলাইয়া লও। চোখে দেখিয়া বোঝা যাইতেছে, B প্রান্ত 2 সে. মি.-এর কিছু বেশী (4নং চিত্র)। চোখের আন্দাজে এই অংশটুকু পাঠ লইলে কিছু ত্রুটি থাকিবে। ভার্নিয়ার দ্বারা ইহার নির্ভুল পাঠ সম্ভব। ইহার জন্য ভার্নিয়ারকে সরাইয়া ভার্নিয়ারের 0 দাগ B

ভার্নিয়ারের সাহায্যে দৈর্ঘ্য নির্ণয়

চিত্র নং 4

প্রান্তের সহিত মিলাও। দেখ, ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের কত দাগ পার হইয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে 2 সে. মি. পার হইয়াছে। কাজেই মূল স্কেলের পাঠ হইল 2 সে. মি.। বাকী অংশটুকু পাঠ করিতে হইলে দেখ ভার্নিয়ারের কোন্ দাগ মূল স্কেলের যে-কোন একটি দাগের সহিত মিলিয়া গিয়াছে কি না। ভার্নিয়ারের দাগগুলি পর পর ভালভাবে লক্ষ্য করিলেই এই মিল ধরা পড়িবে। ছবিতে ভার্নিয়ারের 5 দাগ মূল স্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়াছে। এক্ষণে ভার্নিয়ারের 5 দাগকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক দ্বারা গুণ করিলে যাহা পাওয়া যাইবে তাহা হইল B প্রান্তের বাকী অংশটুকুর নির্ভুল পাঠ।

সুতরাং AB লাইনটির দৈর্ঘ্য=মূল স্কেল পাঠ+ভার্নিয়ার পাঠ×ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক

$=(2+5\times{\cdot}01)$ সে. মি. $=2+{\cdot}05$ সে. মি. $=2{\cdot}05$ সে. মি.

উদাহরণ ঃ একটি ব্যারোমিটারের ভার্নিয়ার স্কেল 20 ঘরে ভাগ করা হইয়াছে এবং ঐ 20 ঘর মূল স্কেলের 19 ঘরের সহিত মেলে। মূল স্কেলের এক একটি ঘর 1 মি. মি.-এর সমান হইলে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয় কর।

উত্তর। 20 ঘর ভার্নিয়ার স্কেল=19 ঘর মূল স্কেল।

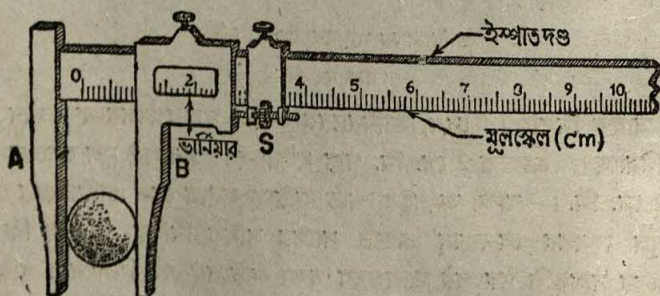
∴ 1 ঘর ভার্নিয়ার স্কেল=$\frac{19}{20}$ ঘর মূল স্কেল=$\frac{19}{20}$ মি. মি.

সুতরাং ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক=মূল স্কেলের এক ঘর—ভার্নিয়ার স্কেলের এক ঘর=$(1-\frac{19}{20})$ মি. মি.=$\frac{1}{20}$ মি. মি.=·05 মি. মি.=·005 সে. মি.

1-11. ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের পরিমাপ ঃ

ক্ষদ্র দৈর্ঘ্যের পরিমাপের জন্য সাধারণত তিনটি যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। উহারা হইতেছে (1) ভার্নিয়ার অথবা শ্লাইড ক্যালিপার্স, (2) স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু ও (3) স্ফেরোমিটার। কি ধরনের জিনিসের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে তাহার উপর ইহাদের যে-কোন একটির ব্যবহার নির্ভর করে। যেমন, সরু তারের ব্যাস মাপিতে স্ক্রু-গেজ সুবিধাজনক কিন্তু কোন বক্রতলের (spherical surface) বক্রতা-ব্যাসার্ধ (radius of curvature) মাপিতে স্ফেরোমিটার সুবিধাজনক। নিচে এই যন্ত্রের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী বলা হইল।

1-12. ভার্নিয়ার বা শ্লাইড ক্যালিপার্স (Vernier or Slide callipers) ঃ

বিবরণ ঃ 5নং চিত্রে একটি শ্লাইড ক্যালিপার্স দেখানো হইয়াছে। মূল স্কেল একটি ইস্পাতের দণ্ডের উপর কাটা হইয়াছে এবং উহা সেন্টিমিটার ও

শ্লাইড ক্যালিপার্স

চিত্র নং 5

মিলিমিটারে ভাগ করা। দণ্ডের যে দিক হইতে স্কেল সুরু সেইদিকে একটি দাড়া (jaw) A আছে। মূল স্কেলের গা বাহিয়া একটি ভার্নিয়ার চলাফেরা করিতে পারে। উহাকে আস্তে আস্তে সরাইবার জন্য একটি স্ক্রু S লাগানো

আছে। এই ভার্নিয়ারটির সঙ্গেও একটি দাড়া B আছে। যখন দুইটি দাড়া একসঙ্গে মিশিয়া থাকে তখন ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের সহিত মিশিয়া যায়। সে-ক্ষেত্রে যন্ত্রের কোন যান্ত্রিক ত্রুটি (instrumental error) থাকে না। সাধারণ ক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের 10 ঘর মূল স্কেলের 9 ঘরের সমান। মূল স্কেলের এক একটি ঘর 1 মিলিমিটার। কাজেই ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক ·01 সে. মি.।

ব্যবহার প্রণালী ঃ যে-জিনিসটির দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে উহাকে দাড়া দুইটির মধ্যবর্তী স্থানে রাখিয়া ভার্নিয়ার আস্তে আস্তে সরাইতে হইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না দুইটি দাড়া বস্তুটির দুই পার্শ্বে আস্তে ঠেকিয়া থাকে (5নং চিত্র)। অতঃপর ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের কত দাগ পার হইয়াছে দেখিতে হইবে এবং পরে ভার্নিয়ারের কত সংখ্যক দাগ মূল স্কেলের কোন একটি দাগের সহিত মিলিয়াছে তাহা ভালভাবে লক্ষ্য করিতে হইবে। ভার্নিয়ারের এই পাঠকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক দিয়া গুণ করিয়া মূল স্কেলের পাঠের সহিত যোগ করিলে বস্তুর দৈর্ঘ্য নির্ভুলভাবে দুই দশমিক স্থান পর্যন্ত পাওয়া যাইবে।

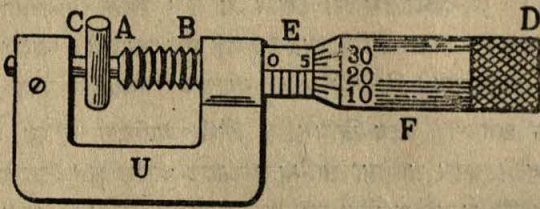
কোন কোন ক্যালিপার্সে সে. মি. ও মি. মি.-এর পরিবর্তে ইঞ্চিতে দাগ কাটা থাকে এবং উহার স্থিরাঙ্কও তদনুযায়ী ভিন্ন হইতে পারে।

লক্ষ্য করিবার বিষয় ঃ ক্যালিপার্স ব্যবহার করিতে গেলে প্রথমেই লক্ষ্য করিতে হইবে যে ইহাতে যান্ত্রিক ত্রুটি (instrumental error) আছে কি-না। অর্থাৎ দাড়া দুইটি মিশিয়া থাকিলে মূল স্কেলের 0-দাগ ভার্নিয়ারের 0· দাগের সহিত মিশিয়াছে কি-না। না মিশিলে যান্ত্রিক ত্রুটি আছে বুঝিতে হইবে। সে-ক্ষেত্রে যদি দেখা যায় যে ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের বামপাশে রহিয়াছে তাহা হইলে ভার্নিয়ারের ঐ অবস্থায় যে-পাঠ হইবে তাহা বস্তুটির নির্ণীত দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ করিতে হইবে। আর যদি ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের ডানদিকে থাকে তাহা হইলে ভার্নিয়ার পাঠ নির্ণীত দৈর্ঘ্য হইতে বাদ দিতে হইবে। এইভাবে যান্ত্রিক ত্রুটিপূর্ণ ক্যালিপার্স দ্বারাও প্রকৃত দৈর্ঘ্য বাহির করা যায়।

1-13. স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু (Screw Gauge or Micrometer screw) ঃ

খুব সূক্ষ্ম বস্তুর দৈর্ঘ্য, যথা---সরু তারের ব্যাস, পাতলা পাতের বেধ (thickness) প্রভৃতি নির্ভুলভাবে মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। 6নং চিত্রে ইহার ছবি দেখানো হইল।

বিবরণ ঃ AB একটি ধাতব দণ্ড যাহার উপর স্ক্রু কাটা আছে। দণ্ডের A প্রান্ত খুব সমতল। এই দণ্ড E ফাঁপা চোঙের ভিতর দিয়া সামনে-পিছনে

যাতায়াত করিতে পারে। চোঙের উপর উহার অক্ষের (axis) সমান্তরালে একটি মিলিমিটার স্কেল কাটা আছে। স্কেল যে-রেখার উপর কাটা সেই রেখাকে

স্ক্রু-গেজ
চিত্র নং 6

মান-রেখা (reference line) বলে। চোঙটির গা বাহিয়া একটি বেষ্টনী F আছে। ইহার এক প্রান্তে একটি চক্রাকার (circular) স্কেল কাটা আছে। বেষ্টনীর অপর প্রান্তে অবস্থিত একটি টুপি (D) ঘুরাইলে বেষ্টনী ও AB দণ্ড সামনে-পিছনে চলাচল করিতে পারে। E চোঙ একটি U-আকৃতি ইস্পাত দণ্ড দ্বারা C দণ্ডের সহিত দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে। C-দণ্ডটির যে-প্রান্ত AB দণ্ডের A প্রান্তের মুখোমুখি তাহা খুব সমতল। D টুপি ঘুরাইলে E চোঙের গা বাহিয়া F বেষ্টনীর ঘূর্ণন হইবে। তাহার ফলে বেষ্টনী ও AB দণ্ড সোজা-সুজি অগ্রসর হইবে। কাজেই E চোঙের রৈখিক (linear) স্কেল লক্ষ্য করিলে F বেষ্টনীর একবার পূর্ণ ঘূর্ণনের ফলে AB দণ্ডটি কতটা অগ্রসর হইল তাহা সহজেই জানা যাইবে।

যন্ত্রের ব্যবহার ঃ এই যন্ত্র ব্যবহার করিতে গেলে সর্বপ্রথম ইহার লঘিষ্ঠ ধ্রুবক (least count) বাহির করিয়া লইতে হইবে। যন্ত্র ক্ষুদ্রতম কত দৈর্ঘ্য মাপিতে সক্ষম তাহা উক্ত লঘিষ্ঠ ধ্রুবক হইতে জানা যায়। ইহা নির্ণয় করিতে গেলে চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের মান-রেখার সহিত মিশাইয়া স্ক্রুটি পূর্ণ একবার ঘুরাইতে হইবে। তাহার ফলে বেষ্টনী বা AB দণ্ড রৈখিক স্কেল বরাবর যতটা সরিয়া আসিবে তাহাকে স্ক্রু-পিচ্ (pitch) বলা হয়। ধরা যাক, বেষ্টনী রৈখিক স্কেলের 1 ঘর সরিয়া গেল। তাহা হইলে স্ক্রু-পিচ্ হইল 1 মি.মি.। চক্রাকার স্কেলে মোট যে-কয়টি ভাগ আছে তাহা দিয়া এই পিচকে ভাগ করিলে যন্ত্রটির লঘিষ্ঠ ধ্রুবক পাওয়া যাইবে। তাহা হইলে,

$$\text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক} = \frac{\text{স্ক্রু-পিচ্}}{\text{চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগসংখ্যা}}$$

[যদি চক্রাকার স্কেলে 100টি ভাগ থাকে এবং পিচ্ হয় 1 মি. মি., তাহা হইলে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $\frac{1}{100}$ মি. মি. $=\cdot01$ মি. মি. অর্থাৎ যন্ত্র এক মিলিমিটারের 100 ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত সঠিক মাপিতে পারিবে।]

ধরা যাক, একটি সরু তারের ব্যাস মাপিতে হইবে। তারটিকে C এবং A প্রান্তের মাঝখানে রাখিয়া D টুপি আস্তে আস্তে ঘুরাইতে হইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না তারটির দুই পাশে A এবং C প্রান্ত ঠেকিয়া যায়। E-চোঙের রৈখিক স্কেলটির সর্বশেষ দৃষ্ট সংখ্যা পড়। চোখে দেখা যাইতেছে (চিত্র নং 6) 5 মি. মি. পার হইয়াছে। কাজেই রৈখিক স্কেল পাঠ 5 মি. মি.। বাকী অংশটুকু চক্রাকার স্কেল হইতে পাওয়া যাইবে। তজ্জন্য লক্ষ্য কর, রৈখিক স্কেলের মান-রেখার সহিত চক্রাকার স্কেলের কোন্ দাগ মিলিয়াছে। এক্ষেত্রে 20 দাগ। তাহা হইলে চক্রাকার স্কেল পাঠ হইল 20; ইহাকে যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক দিয়া গুণ করিলে এবং রৈখিক স্কেল পাঠের সহিত যোগ করিলে নির্দিষ্ট ব্যাস পাওয়া যাইবে।

অর্থাৎ তারটির ব্যাস $=5$ মি. মি. $+(20\times\cdot01)$ মি. মি.

$=(5+\cdot2)$ মি. মি. $=5\cdot2$ মি. মি.

লক্ষ্য করিবার বিষয়ঃ (1) এখানেও প্রথমে লক্ষ্য করিতে হইবে কোন যান্ত্রিক ত্রুটি আছে কি-না। অর্থাৎ A ও C প্রান্তের মধ্যে কোন জিনিস না রাখিয়া উভয়কে মিশাইলে যদি চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিয়া যায় তবে যন্ত্র ত্রুটিহীন। অন্যথায় যন্ত্রটির ত্রুটি আছে। ক্রমাগত ব্যবহারের ফলে যন্ত্রের ত্রুটি আসা স্বাভাবিক। সেক্ষেত্রে A এবং C প্রান্তদ্বয় মিশিয়া গেলে যদি চক্রাকার স্কেল রৈখিক স্কেলের 0-দাগ পর্যন্ত না পৌঁছায় তবে ঐ অবস্থায় যে-পাঠ পাওয়া গেল তাহা নির্ণীত দৈর্ঘ্য হইতে বাদ দিতে হইবে। পক্ষান্তরে যদি চক্রাকার স্কেল রৈখিক স্কেলের 0-দাগ ছাড়াইয়া যায় তবে ঐ অবস্থায় পাঠ নির্ণীত দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ দিতে হইবে।

(2) লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, A এবং C প্রান্তদ্বয় তারকে যেন খুব জোরে চাপিয়া না ধরে।

1-14. ক্ষেত্রফলের পরিমাপঃ

অনেক সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল পরিমাপের জন্য উহাদের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ অথবা উচ্চতা মাপিলেই ক্ষেত্রফল জানা যায় এবং ভার্নিয়ার, স্লাইড্ ক্যালিপার্স, স্ক্রু গেজ প্রভৃতি দ্বারা ঐগুলির পরিমাপ সম্ভব। নিম্নে কতকগুলি সুষম (regular) সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল পরিমাপের সূত্র দেওয়া হইলঃ

আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল $=$ দৈর্ঘ্য $\times$ প্রস্থ

ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল $=\frac{1}{2}\times$ ভূমিরেখা (base) $\times$ উচ্চতা (altitude)

বৃত্তের ক্ষেত্রফল $=\pi\times(\text{ব্যাসার্ধ})^2=\pi\times\dfrac{(\text{ব্যাস})^2}{4}$

গোলকের (sphere) উপরতলের ক্ষেত্রফল $=4\pi\times(\text{ব্যাসার্ধ})^2=\pi\times(\text{ব্যাস})^2$

চোঙের (cylinder) বক্র-পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $=\pi\times$ ব্যাস $\times$ দৈর্ঘ্য।

উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক, একটি গোল বলের উপরতলের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করিতে হইবে। শ্লাইড্ ক্যালিপার্স দ্বারা বলটির ব্যাস মাপিয়া লইলে সহজেই ক্ষেত্রফল পাওয়া যাইবে। কারণ, গোলকের উপরিতলের ক্ষেত্রফল$=\pi\times$(ব্যাস)^2

1-15. আয়তনের পরিমাপ ঃ

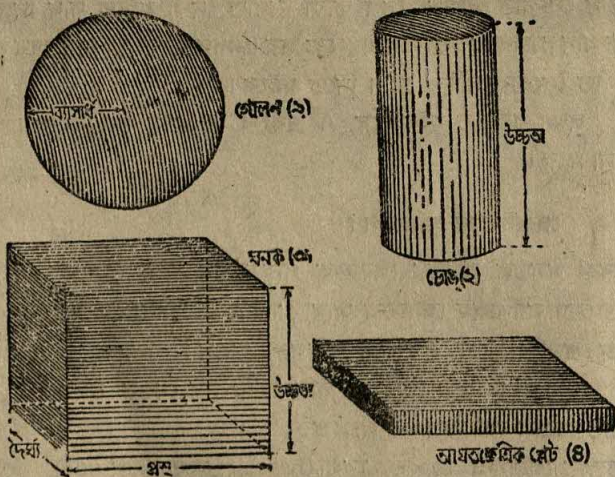
বহু সুষম কঠিন বস্তুর (soild figures) দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা মাপিলেই বস্তুটির আয়তন বাহির করা যায়। তজ্জন্য আমরা ভার্নিয়ার স্কেল, শ্লাইড্ ক্যালিপার্স বা স্ক্রু-গেজ ব্যবহার করিতে পারি। এখানে (চিত্র নং 7) কয়েকটি সুষম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তনের সূত্র দেওয়া হইল ঃ

Parallelopiped-এর আয়তন=দৈর্ঘ্য×প্রস্থ×উচ্চতা।

ঘনক (cube) ,, ,, =দৈর্ঘ্য×প্রস্থ×উচ্চতা=(দৈর্ঘ্য)^3

গোলকের আয়তন$=\frac{4}{3}\pi r^3$ ($r=$ব্যাসার্ধ)

খাড়া গোলমুখ (right circular) চোঙের আয়তন=গোল প্রান্তের ক্ষেত্রফল ×উচ্চতা।

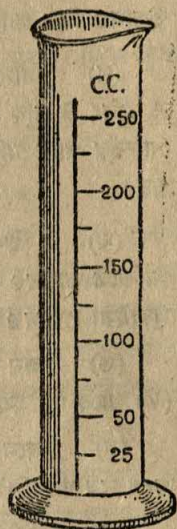
ধরা যাক, একটি চোঙের আয়তন নির্ণয় করিতে হইবে। চোঙটির দৈর্ঘ্য ও গোলমুখের ব্যাস অনায়াসে শ্লাইড ক্যালিপার্স দ্বারা নির্ণয় করিয়া নিম্নোক্ত সূত্রদ্বারা আয়তন বাহির করা যাইবে।

চিত্র নং 7

খাড়া গোলমুখ চোঙের আয়তন=গোল প্রান্তের ক্ষেত্রফল×উচ্চতা$=\frac{\pi d^2}{4}\times h$

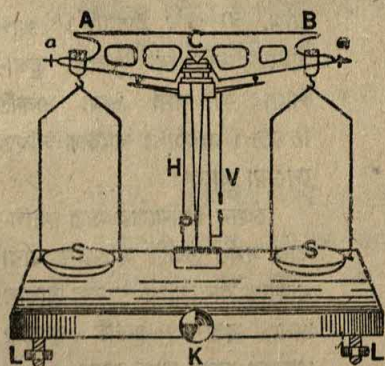
[$d=$গোলমুখের ব্যাস ও $h=$উচ্চতা।]

অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন আর্কিমিডিসের সূত্র প্রয়োগ করিয়া নির্ণয় করা যায়।

তরল পদার্থের আয়তন মাপিবার জন্য ঘন সেন্টি-মিটার (c. c.) দাগ কাটা একপ্রকার আয়তন মাপক চোঙ্ (measuring cylinder) ব্যবহার করা হয়। 8নং চিত্রে ঐরূপ একটি চোঙ দেখানো হইল।

আয়তন মাপক চোঙ
চিত্র নং 8

1-16. ভরের পরিমাপ (Measurement of mass) ঃ

বিভিন্ন দ্রব্যের ভর মাপিবার বিভিন্ন উপায় আছে। সাধারণত ভর মাপিবার জন্য পরীক্ষাগারে যে-যন্ত্রটি ব্যবহৃত হয় তাহার নাম সাধারণ তুলা (common balance)। এই তুলার সাহায্যে কতকগুলি প্রমাণ বাটখারার (standard weights) সহিত তুলনামূলকভাবে কোন দ্রব্যের ভর নির্ণয় করা হয়। নিম্নে তুলার প্রধান অংশের বিবরণ দেওয়া হইল (9নং চিত্র)।

(ক) **তুলাদণ্ড** (Balance beam) ঃ ইহা একটি লম্বা দণ্ড (AB)। এই দণ্ডের ঠিক মাঝখানে একটি অ্যাগেট্ অথবা ইস্পাত-নির্মিত ক্ষুরধার (knife- edge) ত্রিভূজাকৃতি টুকরা (C) শক্তভাবে আটকানো আছে। এই টুকরাটি একটি ছোট অ্যাগেট্ প্লেটের উপর রাখা থাকে এবং অ্যাগেট্ প্লেটটি একটি খাড়া স্তম্ভ (pillar) H-এর ভিতর হইতে ঢুকানো একটি দণ্ডের (rod) উপর সংযুক্ত। K চাবি ঘুরাইলে দণ্ডটি উপরে উঠিতে বা নীচে নামিতে পারে। উপরে উঠাইলে C-এর উপরে রক্ষিত তুলাদণ্ডটি C-এর ক্ষুরধারের উপর দোল খাইবে এবং নীচে নামাইয়া রাখিলে তুলাদণ্ড স্থির থাকিবে। C-এর এই ধারকে বলা হয় আলম্ব (fulcrum)।

সাধারণ তুলা
চিত্র নং 9

(খ) **সূচক** (Pointer) ঃ ইহা একটি সরু কাঁটা এবং তুলাদণ্ডের ঠিক মাঝখানে লম্বভাবে আবদ্ধ। যখন তুলাদণ্ড দোল খায় তখন সূচকও দুলিতে

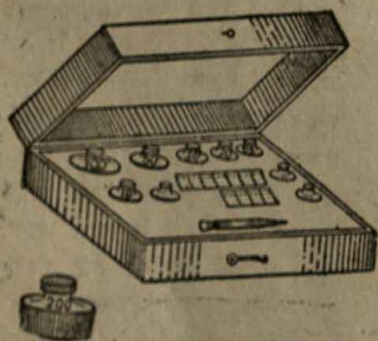
থাকে এবং সূচকের তীক্ষ্ণ প্রান্ত (pointed end) স্কেলের গা ঘেঁষিয়া চলাচল করে। তুলাদণ্ড স্থির থাকিলে তীক্ষ্ণপ্রান্ত স্কেলের 0-দাগের সহিত মিশিয়া থাকে।

(গ) তুলাপাত্র (Scale pan) ঃ S এবং S দুইটি সমান ওজনের পাত্র A এবং B প্রান্ত হইতে দুইটি স্টীরাপ (stirrup) দ্বারা ঝুলানো থাকে। বাম পার্শ্বের পাত্রে পরিমেয় দ্রব্য রাখিয়া ডান পাশের পাত্রে প্রমাণ বাটখারা রাখিতে হয়।

(ঘ) A এবং B প্রান্তে দুইটি স্ক্রু (*a*, *a*) লাগানো আছে। তুলাপাত্র খালি থাকিলে তুলাদণ্ড যদি অনুভূমিক (horizontal) না হয় তাহা হইলে ঐ স্ক্রু দুইটি ঘুরাইয়া তুলাদণ্ড অনুভূমিক করিতে হয়।

(ঙ) ওলন দড়ি (Plumb line) ঃ প্রত্যেক তুলার সহিত একটি ওলনদড়ি (V) থাকে। ইহার সাহায্যে H ঠিক উল্লম্ব হইল কি-না বোঝা যায়।

(চ) ওজনের বাক্স (Weight box) ঃ যদিও বাক্সটি তুলার সংলগ্ন কোন অংশ নয় তথাপি তুলার সাহায্যে ভর মাপিতে এই বাক্সের প্রয়োজন।

10নং চিত্রে এই বাক্সের ছবি দেখানো হইল। এই বাক্সের বিভিন্ন খাপে বিভিন্ন ওজনের প্রমাণ বাটখারা সাজানো থাকে। যেমন, 100 গ্রাম, 50 গ্রাম ইত্যাদি। খাপ হইতে বাটখারা তুলিয়া তুলা-পাত্রে রাখিবার জন্য একটি চিমটা (forceps) বাক্সের সহিত দেওয়া থাকে।

ওজনের বাক্স
চিত্র নং 10

কোন জিনিসের ভর মাপি-বার সময় তুলাটি হাওয়ার দ্বারা যাহাতে বাধাপ্রাপ্ত না হয় তাহার জন্য যন্ত্রকে একটি কাচের বাক্সের মধ্যে রাখা হয়।

সাধারণভাবে তুলার ব্যবহার ঃ তুলার যদি কোনরকম ত্রুটি না থাকে তবে সাধারণভাবে দ্রব্যের ভর মাপিবার জন্য নিম্নলিখিত উপায় অবলম্বন করা হয়।

পরিমেয় দ্রব্যকে বাম তুলাপাত্রে রাখিয়া ওজনের বাক্স হইতে আন্দাজমত একটি একটি করিয়া বাটখারা তুলিয়া ডান তুলাপাত্রে রাখ এবং দেখ যে কখন তুলাদণ্ড অনুভূমিক হইল। তুলাদণ্ড অনুভূমিক হইলে সূচকের তীক্ষ্ণ প্রান্ত

স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিয়া থাকিবে। এই অবস্থায় ডান তুলাপাত্রে রক্ষিত বাটখারার মোট ভর দ্রব্যটির ভরের সমান।

একথা সর্বদা মনে রাখিতে হইবে, প্রমাণ বাটখারার ভরের সহিত তুলনা-মূলকভাবে দ্রব্যটির ভর বাহির করা হইল।

ভাল তুলার আবশ্যকীয় গুণ (Requisites of a good balance) :

নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকিলে তুলাকে ভাল বলা হইবে।

(1) তুলা সুবেদী (sensitive) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ দুই তুলাপাত্রে রাখা দুই বস্তুর ভরের সামান্য তফাৎ থাকিলে তুলাদণ্ড কাত হইয়া যাইবে—অনুভূমিক থাকিবে না। তুলা সুবেদী হয় যদি তুলাদণ্ড হালকা হয়, দণ্ডের বাহু দীর্ঘ হয় এবং দণ্ডের ভারকেন্দ্র আলম্বের কাছাকাছি থাকে। খুব সুবেদী তুলা দ্বারা এক মিলিগ্রামের দশভাগের একভাগ পর্যন্ত ওজনের পার্থক্য পরিমাপ করা যায়।

(2) তুলা নির্ভুল (true) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ ঠিক সমান ভরের দুই বস্তু দুই তুলাপাত্রে রাখিলে অথবা দুই তুলাপাত্র খালি থাকিলে তুলাদণ্ড অনু-ভূমিক হইবে।

(3) তুলা প্রতিষ্ঠ (stable) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ সূচক একবার আন্দোলিত হইলে পুনরায় সাম্য অবস্থানে শীঘ্র ফিরিয়া আসিবে—দীর্ঘ সময় ধরিয়া আন্দোলিত হইবে না।

(4) তুলা দৃঢ় (rigid) হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ তুলার বিভিন্ন অংশগুলি মজবুত হইবে।

1-17. পদার্থের ঘনত্ব (Density) :

কোন পদার্থের এক ঘন আয়তনে যতখানি ভর থাকে তাহাকে পদার্থের ঘনত্ব (density) বলা হয়। যদি কোন পদার্থখণ্ডের আয়তন হয় V এবং ভর হয় M তাহা হইলে ঐ পদার্থের ঘনত্ব, $D=\frac{M}{V}$।

ঘনত্বের একক (Units of density) :

সি. জি. এস্. একক : যদি এক ঘন সেন্টিমিটারে এক গ্রাম ভর থাকে তাহা হইলে পদার্থটির ঘনত্বকে সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী ঘনত্বের একক ধরা হয়।

পরিষ্কার জলকে 4° সেলসিয়াস তাপমাত্রায় রাখিলে উহার ঘনত্ব সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী এক একক ঘনত্বের সমান।

এফ্. পি. এস্. একক ঃ যদি এক ঘন ফুটে এক পাউণ্ড ভর থাকে তাহা হইলে পদার্থটির ঘনত্বকে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী ঘনত্বের একক ধরা হয়।

এক ঘনফুটে যতখানি জল ধরে তাহার ভর হইল 62·5 পাউণ্ড। সুতরাং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী জলের ঘনত্ব হইল প্রতি ঘনফুটে 62·5 পাউণ্ড।

এম্. কে. এস্. পদ্ধতি ঃ এই পদ্ধতিতে ঘনত্ব প্রকাশের একক কিলোগ্রাম/ঘনমিটার। এক ঘনমিটার আয়তনের কোন পদার্থে যদি 1 কিলোগ্রাম ভর থাকে তবে ঐ পদার্থের ঘনত্ব 1 কিলোগ্রাম/ঘনমিটার (1 kg/m^3.)

একথা মনে রাখিতে হইবে যে, কোন পদার্থের সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী যে ঘনত্ব এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী সে ঘনত্ব হইবে না। সুতরাং পদার্থের ঘনত্ব বলিলেই তাহার যথোপযুক্ত একক উল্লেখ করিতে হইবে। যদি বলা হয় রূপার ঘনত্ব 10·5 তাহা হইলে ঠিক বলা হইল না। বলিতে হইবে রূপার ঘনত্ব 10·5 গ্রাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটার।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী রূপার ঘনত্ব 10·5 নয়। ইহা $10·5 \times 62·5$ পাউণ্ড প্রতি ঘনফুট।

উদাহরণ ঃ (1) একটি লোহার টুকরার ভর 740 গ্রাম এবং উহার আয়তন 100 ঘন সেন্টিমিটার। লোহার ঘনত্ব বাহির কর।

উত্তর। এস্থলে, $M = 740$ gm.

$$V = 100 \text{ c.c.}$$

$$\therefore \quad D = \frac{M}{V} = \frac{740}{100} = 7·4 \text{ gm/c.c.}$$

(2) একটি ইস্পাতের গোলকের ব্যাসার্ধ যদি 1 সেন্টিমিটার ও ভর 32·7 গ্রাম হয় তবে ইস্পাতের ঘনত্ব কত?

উত্তর। আমাদের জানা আছে যে, গোলকের আয়তন

$$= \tfrac{4}{3}\pi \times \text{(ব্যাসার্ধ)}^3$$

$$= \tfrac{4}{3} \times \tfrac{22}{7} \times (1)^3 \text{ c.c.} = \tfrac{88}{21} \text{ c.c.}$$

সুতরাং ইস্পাতের ঘনত্ব $= \dfrac{\text{গোলকের ভর}}{\text{গোলকের আয়তন}}$

$$= \frac{32·7}{\frac{88}{21}} = \frac{32·7 \times 21}{88} = 7·8 \text{ gm/c.c. (প্রায়)}$$

(3) একটি ধাতুখণ্ডের মাপ 3 cm × 2·4 cm × 5 cm. উহার ভর 108 gm. হইলে ঐ ধাতুর ঘনত্ব (i) সি. জি. এস্. এবং (ii) এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে কত হইবে, নির্ধারণ কর।

উত্তর ঃ (i) ধাতুখণ্ডের আয়তন = 3 × 2·4 × 5 = 36 c.c.

$$\text{এখন, ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{108}{36} = 3 \text{ gm/c.c. (সি. জি. এস্)}$$

(ii) ধাতুখণ্ডের আয়তন $= 0{\cdot}03 \times 0{\cdot}024 \times 0{\cdot}05 = 36 \times 10^{-6}$ cu.m.

$$\text{,, ভর} = \frac{108}{1000} = 108 \times 10^{-3} \text{ kg.}$$

$$\therefore \text{ ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{108 \times 10^{-3}}{36 \times 10^{-6}} = 3 \times 10^{3} \text{ kg/cu.m. (এম্. কে. এস্)}$$

ঘনত্বের পরিমাপ (Measurement of density) ঃ কোন পদার্থের ঘনত্ব মাপিতে হইলে উহার ভর ও আয়তন মাপিলেই চলিবে, কারণ আগেই বলা হইয়াছে যে ভরকে আয়তন দিয়া ভাগ করিলে পদার্থের ঘনত্ব পাওয়া যায়। তুলার সাহায্যে পদার্থখণ্ডের ভর বাহির করা যাইবে এবং পদার্থখণ্ডটি সুষম (regular) হইলে উহার আয়তন বাহির করার পদ্ধতিও আমরা পূর্বে দেখিয়াছি। সুতরাং সুষম বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব বাহির করা খুবই সহজ।

অসম (irregular) বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব বাহির করিবার প্রণালী পরে বর্ণনা করা হইয়াছে।

1-18. বস্তুর ওজন (Weight of a substance) ঃ

আমরা জানি যে, কোন বস্তুকে মাটি হইতে কিছু উপরে তুলিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা মাটিতে গিয়া পড়ে---উপরের দিকে উঠিয়া যায় না। ইহা হইতে স্বভাবতই মনে হয় যে মাটি ও বস্তুর ভিতর নিশ্চয়ই কোন আকর্ষণ আছে। প্রকৃতপক্ষে পৃথিবী এবং পার্থিব সকল বস্তুর ভিতর এই আকর্ষণ বর্তমান। ইহাকে **অভিকর্ষ** (gravity) বলে। ইহা আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী-শ্রেষ্ঠ নিউটন।

এই অভিকর্ষের দরুন কোন বস্তুকে হাতের উপর রাখিলে আমরা নিম্নাভিমুখী বল অনুভব করি। বস্তুটি খুব ভারী হইলে এই বল এত বেশী হয় যে আমরা হাতের উপর বস্তুটিকে রাখিতে পারি না। এই বলকেই বস্তুর ওজন বলা হয়।

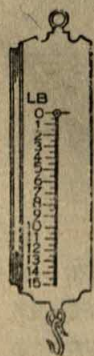
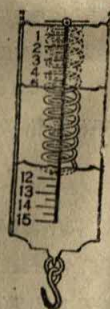
সংজ্ঞা ঃ কোন বস্তুর উপর পৃথিবী মোট যে অভিকর্ষজ বল প্রয়োগ করে তাহাই হইল বস্তুর ওজন।

কোন বস্তুর ওজন স্থানভেদে বিভিন্ন হয়। বস্তুকে পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে লওয়া যায় বস্তুর ওজন তত কমিয়া যায়। পৃথিবী-পৃষ্ঠেও বিভিন্ন স্থানে ওজন বিভিন্ন হইবে, কারণ পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে বিভিন্ন স্থানের দূরত্ব সমান নয়।

ভর ও ওজনের পার্থক্য ঃ (i) বস্তুর ভর বলিতে বস্তুতে যে পরিমাণ জড় পদার্থ আছে তাহা বুঝায়, কিন্তু ওজন বলিতে পৃথিবী উহাকে যে-বলে আকর্ষণ করে তাহা বুঝায় (ii) ভর কিছু পরিমাণ পদার্থ কিন্তু ওজন একটি বল (iii) স্থান-ভেদে বস্তুর ভর অপরিবর্তনীয় কিন্তু ওজন পরিবর্তনীয় (iv) ভরের একক গ্রাম বা পাউণ্ড কিন্তু ওজনের একক ডাইন বা পাউণ্ডাল (v) ভর স্কেলার রাশি কিন্তু ওজন ভেক্টর রাশি।

ওজনের পরিমাপ (Measurement of weight of a body) ঃ কোন বস্তুর ওজন পরিমাপের অর্থ এই যে উহার উপর পৃথিবীর আকর্ষণজনিত মোট বল কত তাহার পরিমাপ। স্প্রীং তুলা (spring balance) নামক একপ্রকার যন্ত্রের সাহায্যে তাহা করা যায়।

স্প্রীং তুলা ঃ 11নং চিত্রে একটি স্প্রীং তুলা দেখানো হইয়াছে। স্প্রীং তুলার ভিতরের অংশ 12নং চিত্রে দেখানো হইল।

এই যন্ত্রে একটি ইস্পাতের স্প্রীংকে একটি ধাতব আবরণের ভিতর এমনভাবে রাখা হইয়াছে যে স্প্রীংটির এক প্রান্ত আবরণের উপরে একটি আংটার সহিত আটকানো এবং নিম্নপ্রান্ত একটি দণ্ডের সহিত সংযুক্ত। এই দণ্ডের অপর প্রান্তে একটি হুক্ লাগানো আছে। যে বস্তুর ওজন নির্ণয় করিতে হইবে তাহাকে এই হুকে ঝুলাইয়া দেওয়া যায়। ধাতব আবরণের গায়ে পাউণ্ড অথবা গ্রামে দাগকাটা একটি স্কেল অঙ্কিত থাকে। স্প্রীংটির সহিত একটি সরু কাঁটা সূচকের (pointer) কাজ করিবার জন্য লাগানো থাকে। স্প্রীং কোন কারণে দৈর্ঘ্য বাড়িলে সূচকও স্কেলের গা-বাহিয়া নামিয়া আসে।

চিত্র নং 11

চিত্র নং 12

প্রথমে কয়েকটি নির্দিষ্ট ওজন-সম্পন্ন বস্তু হুকে ঝুলাইয়া স্প্রীং কতটা দৈর্ঘ্যে বাড়ে এবং তাহার ফলে সূচক কোথায় দাঁড়ায় ঠিক করিয়া সেই মত স্কেল কাটা হয়। পরে অজ্ঞাত ওজনের কোন বস্তু হুকে ঝুলাইলে সূচক যে-দাগের কাছে দাঁড়াইবে তাহাই হইবে ঐ বস্তুর ওজন। মনে রাখিবে, স্প্রীংয়ের প্রসারণ বস্তুর ওজনের সমানুপাতিক।

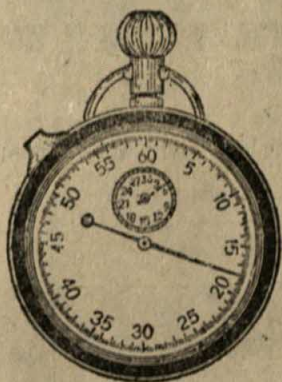
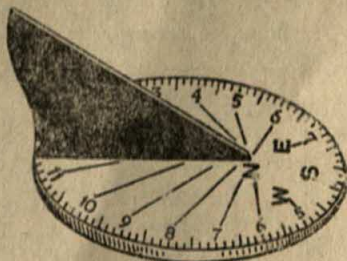
সুতরাং দেখা যাইতেছে, স্প্রীং তুলার কার্যনীতি (principle of work) সরাসরি পৃথিবীর আকর্ষণের উপর প্রতিষ্ঠিত। কাজেই সরাসরি ও দ্রুত ওজন মাপিতে গেলে এই যন্ত্রই সুবিধাজনক।

স্প্রীং তুলা ও সাধারণ তুলার পার্থক্য ঃ স্প্রীং তুলা ও সাধারণ তুলার নীতিগত পার্থক্য আছে। পূর্বেই বলা হইয়াছে, সাধারণ তুলায় প্রমাণ বাটখারার সঙ্গে তুলনামূলকভাবে কোন বস্তুর ভর মাপা হয়। বস্তুটির ওজন পাওয়া যায় না। কিন্তু স্প্রীং তুলার সাহায্যে সরাসরি বস্তুর ওজন মাপা হয়। যদি কোন বস্তুকে স্থান হইতে স্থানান্তরে লইয়া যাওয়া হয়, তবে তাহার ওজনের পার্থক্য সাধারণ তুলা দ্বারা ধরা যাইবে না। কারণ অভিকর্ষজ ত্বরণের পরিবর্তন সমানভাবে বস্তু ও বাটখারার উপর প্রযুক্ত হইবে এবং যেহেতু বস্তুর ভর ঠিকই থাকে সেইহেতু একই পরিমাণ বাটখারা বস্তুকে দুই জায়গাতেই সাধারণ তুলায় পরিমাপ করিবে। কিন্তু স্প্রীং তুলা দ্বারা বস্তুর এই ওজনের পার্থক্য ধরা যাইবে, কারণ বিভিন্ন স্থানে পৃথিবীর আকর্ষণ বিভিন্ন হওয়ায় স্প্রীং-তুলার স্প্রীং-এর প্রসারণ ভিন্ন হইবে। সুতরাং যে-বস্তুর ওজন কলিকাতায় এক পাউণ্ড স্প্রীং তুলার সাহায্যে লণ্ডনে ওজন করিলে তাহা ভিন্ন দেখা যাইবে।

অতএব মনে রাখিতে হইবে, সাধারণ তুলা দ্বারা আমরা বিভিন্ন বস্তুর ভরের তুলনা করিতে পারি কিন্তু স্প্রিং তুলা দ্বারা ওজন মাপিতে পারি।

1-19. সময়ের পরিমাপ (Measurement of time) ঃ

কোন ঘটনা যদি একটি নির্দিষ্ট অবকাশ (interval) অন্তর ঘটে তবে তাহার দ্বারা সময়ের পরিমাপ করা চলে।

সাধারণত সময় মাপিবার জন্য আমরা ঘড়ি ব্যবহার করি। এই ঘড়ি নানারকম হইতে পারে ; যেমন---সাধারণ ঘড়ি, ক্রনোমিটার অথবা নির্ভুল সময় নির্দেশক ঘড়ি, স্টপ্-ঘড়ি অর্থাৎ যে ঘড়ি ইচ্ছামত চালানো বা বন্ধ করা যায়। কোন কোন স্টপ্ ঘড়ি দ্বারা এক সেকেণ্ডের

স্টপ-ঘড়ি

চিত্র নং 13

সান-ডায়াল

চিত্র নং 14

5 ভাগের একভাগ এমনকি দশভাগের একভাগ সময়ও নির্ণয় করা সম্ভব।

খ্রীষ্টজন্মের 800 বছর পূর্বে সান-ডায়াল (Sun-dial) নামক একপ্রকার যন্ত্রের সাহায্যে সময় নির্ণয় করা হইত। একটি গোলাকার ধাতব অথবা পাথরের পৃষ্ঠে (surface) সময় নির্দেশক ঘন্টা 1, 2 ইত্যাদি লেখা থাকে এবং একটি অস্বচ্ছ (opaque) বস্তু ঐ পৃষ্ঠে লম্ব (vertical) ভাবে আটকানো থাকে। সূর্যের আলো ঐ অস্বচ্ছ বস্তুতে পড়িয়া যে-ছায়া সৃষ্টি করিত সূর্যের গতির সঙ্গে ঐ ছায়া ঘন্টার অঙ্কগুলিকে স্পর্শ করিয়া যাইত। এইভাবে সান-ডায়াল দ্বারা তখনকার দিনে সময় নির্দেশ করা যাইত। 14নং চিত্রে ঐরূপ একটি সান-ডায়াল দেখানো হইয়াছে।

প্রশ্নাবলী

1. একক কাহাকে বলে এবং এককের প্রয়োজনীয়তা কি? এককের বিভিন্ন পদ্ধতি বুঝাইয়া দাও।

2. ভৌত রাশি কাহাকে বলে? এককের প্রয়োজনীয়তা কি? কত প্রকারের একক আছে? সি. জি. এস্. এবং এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে মূল এককগুলি লেখ। [*M. Exam. 1986*]

3. নিম্নোক্ত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখঃ—(ক) সেন্টিমিটার, (খ) ফুট, (গ) কিলোগ্রাম, (ঘ) লিটার।

4. ভর মাপিবার যন্ত্রের নাম কি? উহার বিবরণ দাও ও সাধারণভাবে ভর মাপিবার প্রণালী বর্ণনা কর। [*M. Exam. 1987*]

5. ঘনত্ব কাহাকে বলে এবং উহার একক কি? ভর, আয়তন ও ঘনত্বের পারস্পরিক সম্বন্ধ কি? ভর ও ওজনের পার্থক্য কি? [*M. Exam. 1987*]

6. বস্তুর ওজন বলিতে কি বোঝ? একটি সুন্দর নক্শার সাহায্যে স্প্রীং তুলার বিবরণ দাও। স্প্রীং তুলা ও সাধারণ তুলার কার্যপ্রণালীর পার্থক্য কি?

Objective type :

7. নিচের তালিকার প্রথম স্তম্ভে কয়েকটি ভৌত রাশি এবং দ্বিতীয় স্তম্ভের উহাদের একক উল্লেখ করা হইয়াছে। প্রত্যেক জোড়া মিল করঃ

প্রথম স্তম্ভ	দ্বিতীয় স্তম্ভ
দৈর্ঘ্য	সেকেণ্ড
ঘনত্ব	সেন্টিমিটার
আয়তন	লিটার
ভর	বর্গ সেন্টিমিটার
সময়	গ্র্যাম/ঘন সে মি
ক্ষেত্রফল	কিলোগ্র্যাম

8. নিচের তালিকার শূন্য স্থান পূরণ কর ঃ

পদার্থ	আয়তন	ভর	ঘনত্ব
A	30 c.c.	0·09 kg	....
B	......	150 gm	0·5 gm/c.c.
C	3 cu.m.	......	0·2 gm/c.c.
D	500 c.c.	5 kg	.. gm/c.c. .. kg/m^3

9. প্রত্যেকটি উক্তির শেষে ব্রাকেটের ভিতর দেওয়া শব্দ/শব্দসমূহ হইতে উপযুক্ত শব্দ/শব্দসমূহ নির্বাচন করিয়া শূণ্য স্থান পূর্ণ কর ঃ

(a) এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্বের একক — (kg/m^3 ; lb/cu.ft ; gallon)

(b) খুব ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য পরিমাপে একক হিসাবে ব্যবহৃত হয় — (ইঞ্চি ; ডেকামিটার; মাইক্রন)

(c) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তরলের আয়তন পরিমাপে — একক ব্যবহার করা হয়। (লিটার, গ্যালন, ঘনফুট)

(d) 1 গ্যালন = ... লিটার। (4·54 5·54 ; 4·45)

(e) বস্তুর ওজন পরিমাপে আমরা — ব্যবহার করি। (সাধারণ তুলা, দাগকাটা চোঙ ; স্প্রিংতুলা)

অঙ্ক ঃ

10. একটি বৃত্তের ব্যাস 14 cm. ; উহার ক্ষেত্রফল কত? [Ans. 154 sq. cm.]

11. একটি খাড়া গোলমুখ চোঙের উচ্চতা 7 ft. ; এবং উহার ব্যাস 2 ft. ; চোঙটির আয়তন কত? [Ans. 22 cu. ft.]

12. একটি কাঠের ব্লকের দৈর্ঘ্য 5 cm., প্রস্থ 4 cm. এবং উচ্চতা 10 cm.; উহার ভর 160 gm. হইলে কাঠের ঘনত্ব কত? [Ans. 0·8 gm./c.c.]

13. সেগুন কাঠের তৈরী একটি বাক্সের ওজন 100 lb. ; ওক্ কাঠের তৈরী অনুরূপ একটি বাক্সের ওজন কত হইবে? সেগুন কাঠের ঘনত্ব ও ওক্ কাঠের ঘনত্বের অনুপাত 11 ঃ 17. [Ans. 154·5 lb]

14. বায়ুতে একটি বস্তুর ওজন 175 gm এবং উহার আয়তন 50 c.c. উহার ঘনত্ব (i) সি. জি. এস্. এবং (ii) এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে নির্ণয় কর।

[Ans. (i) 3·5 gm/c.c. (ii) $3{\cdot}5 \times 10^3$ kg/m^3]

15. একটি সরু নলের প্রস্থচ্ছেদ 0·4 mm^2 ; উহার ভিতর 0·8 gm/c.c. ঘনত্বের অ্যালকোহলের একটি সূত আছে। যে-পরিমাণ অ্যালকোহল আছে তাহা 2·4 gm হইলে অ্যালকোহল সূত্রের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [Ans. 750 cm]

গতি, ঋজুগতি সম্পর্কীয় সমীকরণ ও নিউটনের গতিসূত্র

(Motion, Kinematic equations of rectilinear motion and Newton's laws of motion.)

2·1. স্থিতি (Rest) ও গতি (Motion) ঃ

আমরা আমাদের চতুর্দিকে দৃষ্টি ফিরাইলে দেখি যে কোন কোন বস্তু সচল এবং কোন কোন বস্তু স্থির। যে বস্তু সময়ের পরিপ্রেক্ষিতে স্থান হইতে স্থানান্তরে অবস্থান করে তাহাকে আমরা গতিশীল বলি, আর যদি একই স্থানে থাকে তবে তাহাকে বলি স্থির ; যেমন—গাছপালা, বাড়ীঘর আমাদের নিকট স্থির, কিন্তু চলন্ত রেলগাড়ী, ছুটন্ত ঘোড়া প্রভৃতি গতিশীল। কিন্তু একটু চিন্তা করিলে দেখা যাইবে, বাড়ীঘর প্রভৃতি যাহাকে আমরা স্থির বলিয়া দেখি তাহা প্রকৃতপক্ষে স্থির নহে। পৃথিবী প্রতিমুহূর্তে সূর্যের চতুর্দিক প্রদক্ষিণ করিতেছে। সুতরাং পৃথিবীর উপর অবস্থিত বাড়ীঘর প্রভৃতি স্থির থাকে কি করিয়া ? মানুষ যদি গ্রহান্তরে যাইতে পারে এবং তথা হইতে পৃথিবীর ঘরবাড়ীগুলিকে লক্ষ্য করিতে পারে তাহা হইলে দেখিবে, বাড়ীঘর, গাছপালা সবই ক্রমাগত ছুটিতেছে। প্রকৃতপক্ষে এই বিশ্বে কোন বস্তুই স্থির নয় অর্থাৎ চরম (absolute) স্থিতি কি তাহা আমরা জানি না।

তবে স্থিতি বলিয়া কি কিছুই নাই ? আমরা যাহাকে স্থির বস্তু বলিয়া দেখি, তাহা কি ? সাধারণ ক্ষেত্রে পারিপার্শ্বিক বস্তুর সাপেক্ষে যদি কোন বস্তু স্থান পরিবর্তন না করে তবে তাহাকেই আমরা স্থির বলি। আর পারিপার্শ্বিক বস্তুর সাপেক্ষে যদি সে স্থান পরিবর্তন করে তবে বলি বস্তুটি গতিশীল। সুতরাং এই স্থিতি ও গতিকে বলা যাইতে পারে আপেক্ষিক স্থিতি ও গতি। সাধারণত আমরা পৃথিবীকে স্থির মনে করিয়া অন্যান্য বস্তুর আপেক্ষিক (relative) গতি ও স্থিতি উল্লেখ করিয়া থাকি।

2·2. চলন (Translation) ও ঘূর্ণন (Rotation) ঃ

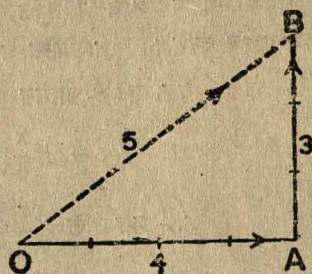
গতি দুই প্রকার হইতে পারে। যথা—(1) **চলন** ও (2) **ঘূর্ণন**। যখন কোন বস্তু সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে তখন তাহার গতিকে চলন বলা হয়। যেমন একটি পাথরকে কিছু উঁচু হইতে ফেলিয়া দিলে, পাথরটি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া পড়ে। সুতরাং পড়ন্ত পাথরটির গতিকে চলন বলা যাইবে।

কিন্তু যদি কোন বস্তু কোন নির্দিষ্ট বিন্দু বা অক্ষের চতুর্দিকে চক্রাকারে (circular) পরিভ্রমণ করে, তবে তাহার গতিকে বলা হইবে ঘূর্ণন। চলন্ত সাইকেলের চাকার গতি ঘূর্ণনের উদাহরণ।

2·3. চলন সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা ঃ

(ক) **সরণ** (Displacement) ঃ কোন বস্তু যদি কোন নির্দিষ্ট দিকে স্থান পরিবর্তন করে তবে সেই পরিবর্তনকে সরণ বলে এবং বস্তুটির প্রথম এবং শেষ অবস্থানের ভিতর যে রৈখিক দূরত্ব (linear distance) তাহাই বস্তুর সরণের পরিমাপ।

সরণ
চিত্র নং 15

ধর, কোন বস্তু গোড়াতে O-বিন্দুতে ছিল (15নং চিত্র)। অতঃপর 4 ফুট পূর্বদিকে সরিয়া গিয়া A-তে পৌঁছিল এবং পরে 3 ফুট উত্তরে গিয়া B বিন্দুতে পৌঁছিল। যদিও প্রকৃতপক্ষে বস্তুটি OAB পথে গেল তথাপি এস্থলে বস্তুর সরণের পরিমাণ OB সরলরেখা, কারণ O বিন্দু বস্তুর প্রথম অবস্থান ও B বিন্দু শেষ অবস্থান। সরণের মান $OB=\sqrt{4^2+3^2}=5$ ফুট।

কাজেই দেখা যাইতেছে, সরণের মান ও নির্দিষ্ট দিক্ (direction) আছে। যে রাশির মান (magnitude) ও দিক্ (direction) থাকে, তাহাকে **ভেক্টর** (vector) রাশি বলে। সেই হিসাবে সরণ একটি ভেক্টর রাশি।

(খ) **দ্রুতি** (Speed) ঃ সময়ের সাপেক্ষে অবস্থান পরিবর্তনের হারকে (rate) দ্রুতি বলে। অর্থাৎ কোন বস্তু এক সেকেণ্ডে যতটা দূরত্ব যাইতে পারে তাহাই বস্তুটির দ্রুতি। দ্রুতি বলিতে কোনরকম দিক্‌নির্দেশের প্রয়োজন নাই। বস্তুটি সরল অথবা বক্র পথে যাইতে পারে।

কাজেই দ্রুতির শুধু মান আছে; দিক্‌নির্দেশ নাই। যে রাশির শুধু মান থাকে, দিক্ থাকে না তাহাকে **স্কেলার** রাশি বলে। সেই হিসাবে দ্রুতি একটি স্কেলার রাশি (scalar quantity)।

যদি বস্তু কোন নির্দিষ্ট সময়ে কোন নির্দিষ্ট পথ (সরল অথবা বক্র) অতিক্রম করে তবে তাহার দ্রুতিকে বলা হয় সম (uniform) দ্রুতি। যদি তাহা না হয় তবে দ্রুতি অসম বা পরিবর্তনীয় (variable)।

অসম দ্রুতির ক্ষেত্রে আমরা গড় **দ্রুতির** (average speed) কথা চিন্তা করিতে

পারি। ধর, একটি বস্তুকণা s_1 দূরত্ব t_1 সময়ে, s_2 দূরত্ব t_2 সময়ে এবং তাহার পরবর্তী s_3 দূরত্ব t_3 সময়ে অতিক্রম করিল। এক্ষেত্রে বস্তুকণার দ্রুতি অসম। বস্তুকণার গড় দ্রুতি মোট অতিক্রান্ত দূরত্বকে মোট সময় দ্বারা ভাগ করিলে পাওয়া যাইবে। অর্থাৎ,

$$\text{গড় দ্রুতি}=\frac{s_1+s_2+s_3}{t_1+t_2+t_3}$$

উদাহরণ ঃ একটি মোটর গাড়ী দুইটি স্থানের অন্তর্বর্তী দূরত্বের প্রথম অর্ধেক 40 মাইল/ঘন্টা দ্রুতিতে এবং পরের অর্ধেক 60 মাইল/ঘন্টা দ্রুতিতে অতিক্রম করিল। গাড়ীটির গড় দ্রুতি কত?

উ ঃ ধর, দুইটি স্থানের দূরত্ব $=2x$ মাইল। এক্ষেত্রে মোট সময়

$$=\frac{x}{42}+\frac{x}{60}=\frac{x}{24} \text{ ঘন্টা}$$

$$\therefore \text{ গড় দ্রতি}=\frac{\text{মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{মোট সময়}}=\frac{2x}{x/24}=48 \text{ মাইল/ঘন্টা।}$$

(গ) **বেগ** (Velocity) ঃ সময়ের সাপেক্ষ কোন নির্দিষ্ট দিকে সরণের হারকে বলে বেগ। এক সেকেণ্ডে কোন বস্তু কোন নির্দিষ্ট দিকে যতটা পথ যাইতে পারে তাহাই উহার বেগের পরিমাপ। সুতরাং বেগ একটি ভেক্টর রাশি।

$$\text{বেগ বা গতিবেগ}=\frac{\text{নির্দিষ্ট দিকে অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{সময়}}=\frac{S}{t}$$

বেগ সম ও অসম হইতে পারে। যদি কোন বস্তুকণা সমান অবকাশে (equal interval of time) একই দিকে সমান দূরত্ব (equal distance) অতিক্রম করে তবে তাহার বেগ সম। যদি তাহা না হয় তবে তাহার বেগ অসম।

বেগের একক ঃ

সি. জি. এস্. পদ্ধতি ঃ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বেগের একক সেকেণ্ডে এক সেন্টিমিটার (1 cm/sec.); অর্থাৎ কোন বস্তুকণা যদি নির্দিষ্ট দিকে এক সেকেণ্ডে এক সেন্টিমিটার দূরত্ব যায় তবে তাহার বেগ সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী এক একক।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি ঃ এই পদ্ধতিতে বেগের একক সেকেণ্ডে 1 ফুট (1 ft./sec.); অর্থাৎ বস্তুকণা যদি নির্দিষ্ট দিকে এক সেকেণ্ডে এক ফুট দূরত্ব যায় তবে তাহার বেগ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী এক একক।

এম্. কে. এস্. পদ্ধতি ঃ এই পদ্ধতিতে বেগের একক সেকেণ্ডে 1 মিটার (1 m/sec)। অর্থাৎ বস্তুকণা যদি নির্দিষ্ট দিকে এক সেকেণ্ডে এক মিটার দূরত্ব যায় তবে তাহার বেগ এম্. কে. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী এক একক।

দ্রুতি ও বেগের তফাত ঃ দ্রুতি ও বেগের মধ্যে তফাত এই যে, দ্রুতি বলিতে কোন দিক্‌নির্দেশের প্রয়োজন নাই শুধু মান বলিলেই চলে, কিন্তু বেগ বলিতে মান এবং দিক্‌নির্দেশ দুইয়েরই প্রয়োজন। উদাহরণ দ্বারা এই জিনিসটি ভাল বোঝা যাইবে।

যদি কোন ট্রেন প্রতি ঘন্টায় 50 মাইল অতিক্রম করে তবে আমরা বলিব যে ট্রেনের সমদ্রুতি (uniform speed) ঘন্টায় 50 মাইল। আমরা একথা বলিব না যে ট্রেনটির সমবেগ (uniform velocity) ঘন্টায় 50 মাইল কারণ ট্রেনটি সর্বদা ঘন্টায় 50 মাইল দূরত্ব অতিক্রম করিতেছে ঠিকই, কিন্তু দিকের পরিবর্তন হইতেছে প্রায়ই।

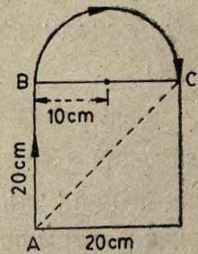
অথবা, ধরা যাউক, কোন বস্তুকণা একটি চক্রাকার পথে এমনভাবে ঘুরিতেছে যে, কোন নির্দিষ্ট সময়ে যে নির্দিষ্ট চাপের দৈর্ঘ্য (length of arc) অতিক্রম করিতেছে। এক্ষেত্রে তাহার দ্রুতি সম কিন্তু একথা বলিতে পারি না যে তাহার বেগ সম। কারণ, চক্রাকার পথে ঘুরিবার সময় প্রতি মুহূর্তে তাহার দিক্ পরিবর্তন হইতেছে।

অতএব, দ্রুতি এবং গতিবেগের ভিতর নিম্নলিখিত পার্থক্য বর্তমান ঃ

(i) দ্রুতি একটি স্কেলার রাশি ; ইহার মান আছে কিন্তু অভিমুখ নাই। গতিবেগ একটি ভেক্‌টর রাশি ; ইহার মান ও অভিমুখ---দুই-ই আছে।

(ii) গতিবেগ উহার মান অথবা অভিমুখ অথবা মান ও অভিমুখ উভয়ের পরিবর্তনে পরিবর্তিত হয় কিন্তু দ্রুতি শুধু উহার মানের পরিবর্তনে পরিবর্তিত হয়।

উদাহরণ ঃ 15(a)নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্গাকৃতি একখণ্ড জমির A বিন্দুতে এক ব্যক্তি দাঁড়াইয়া আছে। সে AB অভিমুখে 4 cm/s দ্রুতি লইয়া চলা আরম্ভ করিল এবং BC অর্ধবৃত্ত বরাবর গিয়া C বিন্দুতে পৌঁছাইল। নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ ঃ

(i) ব্যক্তি মোট কত দূরত্ব অতিক্রম করিল? (ii) C বিন্দুতে পৌঁছাইলে ব্যক্তির সরণ কত? (iii) C বিন্দুতে পৌঁছাইতে ব্যক্তির সময় কত লাগিল? (iv) তাহার গতিবেগ কি? (v) কোন্ পথ বরাবর তাহার গতিবেগ সুষম? (vi) কোন্ পথ বরাবর গতিবেগ সুষম নয়?

চিত্র 15 (a)

উত্তর ঃ (i) ব্যক্তি কর্তৃক অতিক্রান্ত মোট দূরত্ব

=দৈর্ঘ্য AB+BC অর্ধবৃত্তের দৈর্ঘ্য

$=20+\pi r=20+3{\cdot}14\times10=51{\cdot}4$ cm.

(ii) ব্যক্তির সরণ $=AC=\sqrt{(20)^2+(20)^2}=\sqrt{800}=28{\cdot}28$ cm. $\overrightarrow{AC}$ অভিমুখে।

(iii) C বিন্দুতে পৌঁছাইতে সময় $=\dfrac{\text{মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{দ্রুতি}}=\dfrac{51{\cdot}4}{4}$

$=12{\cdot}85$ sec.

(iv) ব্যক্তির গতিবেগ $=\dfrac{\text{সরণ}}{\text{সময়}}=\dfrac{28{\cdot}28}{12{\cdot}85}=2{\cdot}2$ cm/s $\overrightarrow{AC}$ অভিমুখে।

(v) AB দূরত্ব পর্যন্ত ব্যক্তির গতিবেগ সুষম।

(vi) BC অর্ধবৃত্ত বরাবর ব্যক্তির গতিবেগ সুষম নয় কারণ অর্ধবৃত্তের প্রতি বিন্দুতে গতিবেগের অভিমুখ পরিবর্তিত হইতেছে।

(ঘ) **ত্বরণ** (Acceleration) ঃ যদি কোন বস্তুকণা ক্রমবর্ধমান বেগ লইয়া চলে তবে তাহার বেগ পরিবর্তনের হারকে বলা হয় ত্বরণ।

$$\text{ত্বরণ}=\frac{\text{গতিবেগের পরিবর্তন}}{\text{সময়}}$$

ধর, কোন মুহূর্তে একটি বস্তুকণার বেগ সেকেণ্ডে 32 ফুট। 10 সেকেণ্ড সময় পরে তাহার বেগ হইল সেকেণ্ডে 52 ফুট। আরও 10 সেকেণ্ড সময় পরে তাহার বেগ দেখা গেল প্রতি সেকেণ্ডে 72 ফুট এবং সে এইভাবে ক্রমবর্ধমান বেগ লইয়া চলিল। এস্থলে দেখা যাইতেছে, প্রতি 10 সেকেণ্ড সময় পর পর বস্তুকণাটি সেকেণ্ডে 20 ফুট পরিমাণ বেগ পরিবর্তন করিতেছে। তাহা হইলে তাহার বেগ পরিবর্তনের হার প্রতি সেকেণ্ডে $\frac{20}{10}=2$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে। সুতরাং ইহাই তাহার ত্বরণ।

এখানে একটি জিনিস লক্ষ্য করিবে যে 'প্রতি সেকেণ্ডে' কথাটি দুইবার আসিতেছে। একবার বেগ বুঝাইবার জন্য এবং অন্যবার বেগ পরিবর্তনের হার বুঝাইবার জন্য। এই কারণে ত্বরণের একক বলিতে 'প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি সেকেণ্ডে' কথা ব্যবহৃত হয়।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক হইল এক সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড এবং এম্. কে. এস্ এককে মিটার/সেকেণ্ড^2।

(ঙ) **মন্দন** (Retardation) : যদি কোন বস্তুকণা ক্রমহ্রসমান বেগ লইয়া চলে তবে তাহার বেগ পরিবর্তনের হারকে মন্দন বলে। সুতরাং মন্দনকে আমরা ঋণাত্মক (negative) ত্বরণও বলিতে পারি।

উদাহরণস্বরূপ ধরা যাউক, একটি বস্তুকণার কোন এক সময়ের বেগ দেখা গেল সেকেণ্ডে 32 ফুট। 2 সেকেণ্ড পর তাহার বেগ হইল সেকেণ্ডে 28 ফুট এবং আরও দুই সেকেণ্ড সময় পরে তাহার বেগ কমিয়া দাঁড়াইল সেকেণ্ডে 24 ফুট। এই রকম বেগ কমিতে থাকিলে বলা হয় বস্তুটির মন্দন হইতেছে। এস্থলে দেখা যাইতেছে, প্রতি 2 সেকেণ্ড সময় পর পর বস্তুটির বেগ কমিতেছে সেকেণ্ডে 4 ফুট করিয়া। সুতরাং প্রতি সেকেণ্ডে তাহার বেগ পরিবর্তিত হইতেছে $\frac{4}{2}=2$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে। অর্থাৎ তাহার মন্দনের পরিমাণ 2 ft/sec^2।

মন্দনের একক ও ত্বরণের একক হুবহু এক।

2·4. ঋজুগতি সম্পর্কীয় সমীকরণ (Kinematic equations of rectilinear motion) :

(ক) কোন বস্তুকণা 't' সেকেণ্ড যাবৎ 'V' সমবেগ লইয়া চলিলে কত পথ অতিক্রম করিবে তাহা নির্ণয় :

সমবেগের সংজ্ঞা হইতে জানি যে,

বস্তুকণা 1 সেকেণ্ডে $1\times V$ দূর যায়

সুতরাং ,, 2 ,, $2\times V$,, ,,

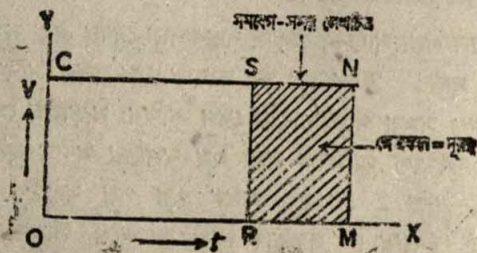
,, t ,, $t\times V$,, ,,

এই দূরত্বকে 'S' বলিলে, $S=Vt$

অর্থাৎ দূরত্ব=সমবেগ×সময়।

লেখচিত্র দ্বারা প্রকাশ (Graphical representation) : যদি কোন বস্তুকণা সমবেগে সরলরেখায় চলে তবে একখানি ছক কাগজে (squared paper) উহার সমবেগ ও সময়ের লেখ (graph) আঁকিলে বস্তুকণার সমবেগ-সময় (velocity-time) লেখচিত্র পাওয়া যাইবে।

OX এবং OY লেখচিত্রের দুইটি অক্ষ। OX অক্ষ বরাবর সময় 't' এবং OY অক্ষ বরাবর সমবেগ 'V' অঙ্কিত করা হইল। ধরা যাক, OC দৈর্ঘ্য বস্তুকণার সমবেগ V-র মানকে প্রকাশ করে। যেহেতু বেগ সম সেইহেতু সময়ের পরিবর্তনে বেগের কোন পরিবর্তন হইবে না। কাজেই সমবেগ-সময়

লেখচিত্র OX রেখার সমান্তরাল একটি সরলরেখা হইবে। এক্ষেত্রে CSN সরলরেখাই বস্তুকণার সমবেগ-সময় লেখচিত্র (16নং চিত্র)।

সমবেগ-সময় লেখচিত্র

চিত্র নং 16

যদি RM দূরত্ব পূর্ণ সময়ের কোন ভগ্নাংশ t_1 sec নির্দেশ করে, তবে উক্ত সময়ে বস্তুকণা যে-দূরত্ব যায় তাহা=সমবেগ×সময়=$V \times t_1$=OC×RM =SR×RM=RMNS আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল।

যদি OM দূরত্ব পূর্ণ সময় t sec নির্দেশ করে তবে উক্ত OM দূরত্বকে RM-এর ন্যায় ছোট ছোট অংশে ভাগ করা যাইতে পারে এবং ঐরূপ ছোট ছোট আয়তক্ষেত্রের মোট ক্ষেত্রফল বস্তুকণা কর্তৃক অতিক্রান্ত মোট দূরত্ব নির্ণয় করিবে।

অর্থাৎ OCNM আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল=মোট দূরত্ব=S

কিন্তু OCNM আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল=OC×OM=$V \times t$.

$$\therefore \quad S = V.t$$

উদাহরণ ঃ (1) একটি ট্রেন 88 ft./sec. সমবেগে চলিতেছে। 10 মিনিট সময়ে ট্রেনটি কতদূর যাইবে?

উঃ। এস্থলে $t = 10$ min $= 10 \times 60$ sec ; $V = 88$ ft./sec.

আমরা জানি, $S = Vt$

কাজেই $S = 88 \times 10 \times 60 \text{ ft.} = \dfrac{88 \times 10 \times 60}{3} \text{ yd}$

$$= \frac{88 \times 10 \times 60}{3 \times 1760} \text{ miles.}$$

$$= 10 \text{ miles.}$$

[Note ঃ এই ধরনের অঙ্কে সমবেগকে সর্বদা ft./sec. বা cm./sec. এককে এবং সময়কে sec এককে প্রকাশ করিয়া লইতে হইবে।]

(2) একটি ট্রেন 60 miles/hr. সমবেগ লইয়া 600 sec. সময়ে কত দূরে যাইবে ?

উঃ। এস্থলে $V=\dfrac{60\times1760\times3}{60\times60}$ ft/sec=88 ft/sec. ; t=600 sec.

কাজেই $S=V.t=88\times600$ ft.$=\dfrac{88\times600}{1760\times3}$ miles=10 miles.

(খ) কোন বস্তুকণা 'f' ত্বরণ লইয়া t sec যাবৎ চলিবার পর তাহার বেগ নির্ণয় :

ধরা যাউক, বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ u অর্থাৎ 't' সেকেণ্ড অবকাশ শুরু হইবার মুহূর্তে বস্তুকণার বেগ ছিল u ; 't' সেকেণ্ড অবকাশ পরে বস্তুকণার বেগ কত তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।

বস্তুকণার ত্বরণ 'f' অর্থাৎ প্রতি এক সেকেণ্ড সময় বস্তুকণার বেগ পরিবর্তন$=f$ [ত্বরণের সংজ্ঞা দ্রষ্টব্য]

সুতরাং 't' সেকেণ্ড সময় পর বস্তুকণার বেগ-পরিবর্তন$=f\times t$

সুতরাং 't' সেকেণ্ড সময় পর বস্তুকণার মোট বেগ $v=u+ft$

যদি বস্তুকণার কোন প্রাথমিক বেগ না থাকে অর্থাৎ বস্তুকণা স্থির অবস্থা হইতে চলা শুরু করে, তবে, $u=0$ এবং সেক্ষেত্রে $v=ft$.

যদি বস্তুকণা 'f' ত্বরণের পরিবর্তে 'f' মন্দন লইয়া চলে, তবে $v=u-ft$.

সময় ও পরিবর্তনশীল বেগের লেখচিত্র.
চিত্র নং 17

লেখ-চিত্র দ্বারা প্রমাণ : OX এবং OY লেখচিত্রের দুইটি অক্ষ (17নং চিত্র)। OX বরাবর সময় 't' এবং OY বরাবর বেগ 'v' অঙ্কিত করা হইল। ধর, OB দৈর্ঘ্য প্রাথমিক বেগ u প্রকাশ করিল যদি B বিন্দু দিয়া OX রেখার সমান্তরাল BA রেখা টানা যায়, তবে উক্ত BA রেখা বস্তুকণার ত্বরণহীন অবস্থায় সমবেগ-সময় লেখচিত্র প্রকাশ করিবে। কিন্তু যেহেতু বস্তুকণার ত্বরণ আছে, কাজেই বেগ সম নয়।

যদি ধরা যায় যে, $CC_1=f$; $DD_1=2f$ এবং OM=1 sec ; ON=2 sec ইত্যাদি,

তাহা হইলে BC_1P রেখা সময়ের পরিবর্তনের সহিত বেগ পরিবর্তন প্রকাশ করিবে।

(ii) $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$ ঃ OX এবং OY লেখচিত্রের দুই অক্ষ। OX বরাবর সময় 't' এবং OY বরাবর 'v' অঙ্কিত করা হইল। OB দৈর্ঘ্য বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ 'u' প্রকাশ করিলে BP সরলরেখা $v=u+ft$ এই সমীকরণের লেখচিত্র হইবে (19নং চিত্র)। OX রেখার সমান্তরাল BA রেখা বস্তুকণার ত্বরণ-হীন অবস্থায় সমবেগ-সময় লেখচিত্র প্রকাশ করে।

চিত্র নং 19

BP রেখার উপর C একটি বিন্দু লও এবং OX রেখার উপর CMN লম্ব টান। ধর, ON দৈর্ঘ্য সময় 't' প্রকাশ করিতেছে।

এখন BMNO আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল বস্তুকণা t সময়ে প্রাথমিক বেগ u লইয়া (তখন কোন ত্বরণ নাই) চলিবার ফলে যে-দূরত্ব যায় তাহা প্রকাশ করে। আর BCM ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল বস্তুকণা উক্ত t সময়ে স্থির অবস্থা হইতে 'f' ত্বরণ লইয়া চলিবার ফলে যে দূরত্ব যায় তাহা প্রকাশ করে।

সুতরাং বস্তুকণা 't' সময়ে 'u' প্রাথমিক বেগ ও 'f' ত্বরণ লইয়া চলিবার ফলে মোট যে-দূরত্ব যায় তাহা দুই ক্ষেত্রফলের সমষ্টি।

অর্থাৎ S=BMNO আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল+BCM ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল

$$=ON\times OB+\tfrac{1}{2}BM\times MC.$$
$$=t\times u+\tfrac{1}{2}t\times ft.$$
$$=ut+\tfrac{1}{2}ft^2.$$

সময়-সরণ (time-displacement) **লেখচিত্র ঃ** যখন কোন বস্তুকণা কোন বিন্দু হইতে যাত্রা করিয়া নির্দিষ্ট অভিমুখে S দূরত্ব যায় তখন তাহার অতিক্রান্ত দূরত্ব ও সময়ের ভিতর লেখ আঁকিলে, আমরা বস্তুর গতির সময়-সরণ লেখচিত্র পাই [চিত্র 19(i)]। যখন বস্তুকণার গতিবেগ সুষম (uniform) তখন লেখচিত্র একটি সরলরেখা OA হইবে। আর গতিবেগ অসম হইলে, লেখচিত্র আঁকাবাঁকা হইবে। OB বক্ররেখা ঐরূপ একটি লেখচিত্র।

চিত্র নং 19 (i)

উদাহরণ : (1) কোন বস্তুকণা 60 cm/sec. প্রাথমিক বেগ লইয়া 5 sec. সময়ে 500 cm. পথ অতিক্রম করিল। বস্তুকণার ত্বরণ কত ?

উ। এস্থলে $u=60$ cm/sec. ; $t=5$ sec. ; $S=500$ cm.

আমরা জানি $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$.

সুতরাং $500=60\times 5+\frac{1}{2}f.(5)^2$

অথবা, $500=300+\frac{25f}{2}$ অথবা $200=\frac{25f}{2}$

$$\therefore \quad f=\frac{200\times 2}{25}=16 \text{ cm/sec}^2.$$

(2) কোন বস্তুকণাতে কত ত্বরণ থাকিলে উহা স্থিরাবস্থা হইতে যাত্রা শুরু করিয়া 10 সেকেণ্ডে 100 ft অতিক্রম করিবে ? তখন উহার গতিবেগ কত হইবে ?

উ। এখানে $u=0$ (স্থিরাবস্থায় ছিল বলিয়া) $S=100$ ft ; $t=10$ sec ; $f=?$; আমরা জানি, $S=ut+\frac{1}{2}f.t^2$

অথবা, $100=0\times 10+\frac{1}{2}f\,(10)^2$

,, $100=\frac{1}{2}f\times 100 \quad \therefore \quad f=2$ ft/s^2

আবার, $v=u+ft$

$=0+2\times 10=20$ ft/s.

অতএব, বস্তুর ত্বরণ $=2$ft/s^2 এবং যাত্রা শেষে বস্তুর গতিবেগ $=20$ ft/s.

(3) একটি ট্রেন স্থির অবস্থা হইতে ত্বরান্বিত গতিতে চলা শুরু করিল। ফলে 2 minute সময়ে উহার বেগ 30 miles/hr. হইল। ঐরূপ ত্বরণ লইয়া চলিলে ট্রেনটি 5 minute সময়ে কত পথ যাইবে ?

উ। এস্থলে প্রথমে ট্রেনের ত্বরণ নির্ণয় করিতে হইবে। অঙ্ক হইতে জানা যায় যে,

$u=0$; $v=30$ miles/hr. $=44$ ft/sec. ; $t=2$ min. $=2\times 60$ sec.

আমরা জানি, $v=u+ft$ অথবা, $44=0+f\times 2\times 60$

$\therefore \quad f=\frac{44}{2\times 60}$ ft/sec^2.

এবার $f=\frac{44}{2\times 60}$ ft/sec^2 ; $t=5\times 60$ sec ; $u=0$; $S=?$

আমরা জানি, $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$

সুতরাং $S=0\times 5\times 60+\frac{1}{2}\cdot\frac{44}{2\times 60}\times 5\times 60\times 5\times 60$

$=16500$ ft. $=3\frac{1}{2}$ miles.

(ঘ) কোন বস্তুকণা 'f' ত্বরণ লইয়া S পথ অতিক্রম করার পর কত বেগ সঞ্চয় করে তাহা নির্ণয় ঃ

ধরা যাক্, বস্তুকণার প্রারম্ভিক বেগ u এবং s পথ অতিক্রম করিতে বস্তুকণার t সময় লাগিল। আমরা জানি $v=u+ft$ এবং $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$

প্রথম সমীকরণের বর্গ লইলে, $v^2=(u+ft)^2$

$$=u^2+2uft+f^2.t^2$$
$$=u^2+2f(ut+\tfrac{1}{2}ft^2)$$
$$=u^2+2f.s.$$

[দ্বিতীয় সমীকরণ হইতে]

$$\therefore \quad v^2=u^2+2fs$$

যদি বস্তুকণার কোন প্রাথমিক বেগ না থাকে অর্থাৎ $u=0$, তবে, $v^2=2fs$; যদি বস্তুকণা f ত্বরণের পরিবর্তে f মন্দন লইয়া চলে, তবে $v^2=u^2-2fs$.

লেখচিত্রের সাহায্যে প্রমাণ ঃ 19নং চিত্র হইতে দেখা যায় যে t সময়ে বস্তুকণা যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা

$s=$OBCN ট্রাপিজিয়ামের ক্ষেত্রফল

$=\frac{1}{2}$ (সমান্তরাল বাহুদ্বয়ের সমষ্টি) $\times$ উহাদের ভিতরকার লম্ব-দূরত্ব।

$$=\tfrac{1}{2}(\text{OB}+\text{CN})\times\text{ON}$$
$$=\tfrac{1}{2}(\text{OB}+\text{CN})\times\text{BM}$$
$$=\tfrac{1}{2}(\text{OB}+\text{CN})\times\frac{\text{BM}}{\text{CM}}\times\text{CM}$$
$$=\tfrac{1}{2}(u+v)\times\frac{t}{f.t}\times ft$$
$$=\tfrac{1}{2}(u+v)\times\frac{1}{f}(v-u) \qquad [\because \ v-u=ft]$$
$$=\tfrac{1}{2}(v^2-u^2)\times\frac{1}{f}.$$

$\therefore \ 2f.s=v^2-u^2$ অথবা $v^2=u^2+2.f.s.$

উদাহরণ ঃ 50 মিটার দূরত্ব অতিক্রম করিতে গিয়া একটি বস্তুকণা গতিবেগ 15 সে.মি./সেকেণ্ড হইতে পরিবর্তিত করিয়া 30 সে.মি./সেকেণ্ড করিল। বস্তুকণার ত্বরণ নির্ণয় কর।

উ। এখানে, $u=15$ সে.মি./সে. ; $v=30$ সে.মি./সে. ; $S=50$ মিটার

$=50\times100$ সে.মি.

এখন $v^2=u^2+2.f.s.$

অথবা $(30)^2=(15)^2+2.f.\times 50\times 100$

,, $(30)^2-(15)^2=2f\times 50\times 100$

,, $45\times 15=2f\times 50\times 100$

,, $f=\dfrac{45\times 15}{2\times 50\times 100}=0{\cdot}0675$ সে.মি./সে.^{2}

2-5. নিউটনের গতিসূত্রাবলী (Newton's laws of motion) ঃ

নিউটনের গতিসূত্র হইতে আমরা জানিতে পারি, কিভাবে বস্তু চলিতে আরম্ভ করে অথবা তাহার গতি ত্বরান্বিত বা মন্দীভূত হইতে পারে। আমরা জানি, কোন স্থির বস্তুকে গতিশীল করিতে হইলে বাহির হইতে তাহার উপর কিছু আরোপ করিতে হয়। যেমন, একটি বলকে ধাক্কা দিলে বলটি চলিতে শুরু করে। এই যে বাহির হইতে ধাক্কা দেওয়া হইল, বিজ্ঞানের ভাষায় ইহাকে বলা হয়, **বল** (force) প্রয়োগ করা হইল। নিউটনের গতিসূত্র হইতে বস্তুর ভর, উহার গতি এবং উহার উপর প্রদত্ত বলের ভিতর সম্বন্ধ বাহির করা যায়। নিউটনের তিনটি গতিসূত্র গতিবিদ্যার (kinetics) স্তম্ভস্বরূপ।

প্রথম সূত্র ঃ বাহির হইতে প্রযুক্ত (externally impressed) **বল দ্বারা বস্তুর গতির অবস্থার পরিবর্তন না করিলে, স্থির বস্তু চিরকাল স্থির অবস্থাতে থাকিবে এবং সচল বস্তু সমবেগে সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চিরকাল চলিতে থাকিবে।**

[Every body continues in its state of rest or of uniform motion in a straight line except in so far as it be compelled by an external impressed force to change that state.]

দ্বিতীয় সূত্র ঃ কোন বস্তুর ভরবেগের (momentum) **পরিবর্তনের হার বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক** (proportional) **এবং বল যে দিকে প্রযুক্ত হয় ভরবেগের পরিবর্তন সেই দিকে ঘটে।**

[Rate of change of momentum is proportional to the impressed force and the change takes place in the direction in which the force acts.]

তৃতীয় সূত্র ঃ প্রত্যেক ক্রিয়ারই (action) **সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া** (reaction) **আছে।** অর্থাৎ ক্রিয়া এবং প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত।

[To every action there is an equal and opposite reaction.]

এখন এই তিনটি সূত্র সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা যাউক।

2-6. প্রথম সূত্রের আলোচনা ঃ

প্রথম সূত্র হইতে আমরা নিম্নোক্ত দুইটি বিষয় জানিতে পারি ঃ

(1) **পদার্থের জাড্য** (Inertia of matter) এবং (2) **বলের সংজ্ঞা**।

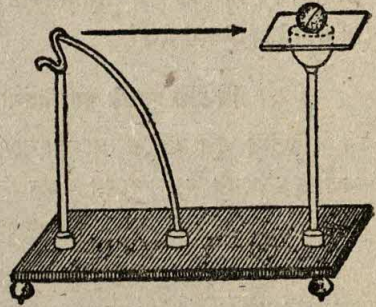
পদার্থের জাড্য ঃ প্রথম সূত্রে এই কথা বলা হইয়াছে, কোন জড়বস্তু যদি স্থির থাকে তাহা হইলে তাহার ধর্মই হইল চিরদিন স্থির থাকা এবং কোন জড়-বস্তু যদি গতিশীল হয় তবে তাহার ধর্মই হইল চিরদিন সমগতিতে সরলরেখায় চলা। পদার্থের এই ধর্ম অর্থাৎ যে অবস্থায় তাহাকে রাখা হইল সেই অবস্থাকে বজায় রাখার চেষ্টা---এই ধর্মকেই বলে পদার্থের জাড্য। সুতরাং জাড্যকে দুই ভাগে ভাগ করিয়া বলা যাইতে পারে, (1) স্থিতি জাড্য (inertia of rest) ও (2) গতি-জাড্য (inertia of motion)।

স্থিতিজাড্য সম্বন্ধে ধারণা করা কিছু কঠিন নয়। কারণ, আমাদের প্রতিদিনের অভিজ্ঞতাই হইল এই যে, কোন বস্তুকে যদি কোথাও রাখি তবে যতক্ষণ পর্যন্ত না তাহাকে ধাক্কা দেওয়া হইতেছে বা ঠেলা দেওয়া হইতেছে অর্থাৎ বাহ্যিক বলপ্রয়োগ করা হইতেছে ততক্ষণ পর্যন্ত সে ঐ জায়গাতেই থাকিবে। হঠাৎ বস্তুটি চলিতে আরম্ভ করে না। সুতরাং সাধারণ বুদ্ধি দ্বারা স্থিতি-জাড্য বোঝা খুবই সহজ।

কিন্তু কোন বস্তুকে যদি মাটিতে গড়াইয়া দেওয়া যায় তাহা হইলে বস্তুটি কিছুক্ষণ পরে থামিয়া যায়। তাহা হইলে বস্তুটি চিরদিন গতিশীল হইল কি করিয়া? গতি-জাড্যের সত্যতা প্রমাণিত হইল কোথায়? এখানে একটা কথা আমরা ধরি নাই। সেটা হইতেছে এই যে, বস্তুটি মাটিতে গড়াইবার সময় বাহ্যিক বলের দ্বারা প্রভাবিত হইতেছে। মাটির সহিত ঘর্ষণজনিত (frictional) বল, হাওয়ার দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হওয়ার বল (force of resistance due to air) প্রভৃতি বস্তুটির উপর কাজ করে বলিয়া বস্তুটি কিছুক্ষণ পরে থামিয়া যায়। মাটিতে একটি বল গড়াইয়া দিলে যতটা যাইবে মসৃণ মেঝে বা বরফের উপর তাহা অপেক্ষা অনেক বেশী যাইবে। কারণ, মসৃণ মেঝে বা বরফে ঘর্ষণজনিত বাধা মাটি অপেক্ষা অনেক কম। সুতরাং এইসব বাহ্যিক বল সম্পূর্ণ অপসারিত হইলে বস্তু সর্বদা গতি বজায় রাখিবে। এইভাবে আমরা গতি-জাড্য ধারণা করিয়া লইতে পারি।

স্থিতি ও গতি জাড্যের দৃষ্টান্ত ঃ (ক) যখন যাত্রীসহ কোন স্থির গাড়ী হঠাৎ বেগে চলিতে আরম্ভ করে তখন প্রত্যেক যাত্রীই পিছন দিকে হেলিয়া পড়ে। ইহা স্থিতি-জাড্যের একটি দৃষ্টান্ত। গাড়ী যখন স্থির তখন যাত্রীদের দেহও স্থির। হঠাৎ গাড়ী চলিলে যাত্রীর দেহের নিম্নাংশ গাড়ীর সহিত সংলগ্ন বলিয়া

গতিশীল হয় কিন্তু উর্ধ্বাংশ স্থিতি-জাড্যের দরুন স্থির থাকিতে চেষ্টা করে। ফলে যাত্রী পিছন দিকে হেলিয়া পড়ে।

(খ) একটি খাড়া দণ্ডের মাথায় একটি বাটি বসানো আছে (20নং চিত্র)। বাটির উপর একটি শক্ত কার্ড রাখা আছে এবং একটি বল কার্ডটির উপর রাখা হইল। এখন একটি স্প্রীংকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে স্প্রীংটি কার্ডটিকে সজোরে আঘাত করিয়া সরাইয়া দিবে এবং বলটিকে বাটির ভিতর পড়িতে দেখা যাইবে। ইহাও স্থিতি-জাড্যের দৃষ্টান্ত। কার্ডটি হঠাৎ আঘাত পাইয়া এত শীঘ্র সরিয়া যায় যে বস্তুটির স্থিতি-জাড্য নষ্ট হইতে পারে না। ফলে পূর্বের স্থির বল পরেও স্থির থাকে কিন্তু নীচে কোন কার্ড না থাকায় বলটি বাটির ভিতর গিয়া পড়ে। কিন্তু কার্ডটিকে আস্তে আঘাত করিলে বল বাহিরে পড়িয়া যাইবে।

স্থিতি জাড্যের উদাহরণ
চিত্র নং 20

(গ) যখন চলন্ত গাড়ী হইতে কোন আরোহী অসাবধানে নামে তখন তাহাকে সামনের দিকে পড়িয়া যাইতে দেখা যায়। ইহা গতি-জাড্যের দৃষ্টান্ত। চলন্ত গাড়ীতে থাকার ফলে আরোহীর সমস্ত দেহই গতিশীল। কিন্তু মাটিতে পা দেবার সঙ্গে সঙ্গে তাহার দেহের নিম্নাংশ স্থির হয় কিন্তু গতি-জাড্যের দরুন দেহের উর্ধ্বাংশ গতি বজায় রাখিতে চেষ্টা করে। ফলে, তাহাকে সামনের দিকে ঝুঁকিতে দেখা যায়।

(ঘ) চলন্ত গাড়ীর কামরায় কোন আরোহী যদি একটি বলকে সোজা উপরে ছুঁড়িয়া দেয় তবে কিছুক্ষণ পরে বলটি আবার তাহার হাতে আসিয়া পড়ে—যদিও ইতিমধ্যে আরোহী সামনের দিকে খানিকটা আগাইয়া যায়। ইহাও গতি-জাড্যের দৃষ্টান্ত।

বল (Force) ঃ প্রথম সূত্র হইতে আমরা ইহাও জানিতে পারি যে, কোন বস্তুর স্থিরাবস্থা বা গতিশীল অবস্থার পরিবর্তন করিতে হইলে বাহির হইতে বস্তুটির উপর বল আরোপ করিতে হয়। স্থির বস্তুকে সচল করিতে বা সচল বস্তুকে স্থির অবস্থায় আনিতে অথবা জোরে কিংবা আস্তে চালাইতে হইলে বাহ্যিক বল প্রয়োগ না করিলে হয় না। বস্তু আপনা হইতেই চলিতে পারে না বা স্থির হইতেও পারে না।

সংজ্ঞা ঃ বাহির হইতে যাহা প্রয়োগ করিয়া বস্তুর স্থিরাবস্থা বা গতিশীল অবস্থার পরিবর্তন করা হয় বা পরিবর্তন করিবার চেষ্টা করা হয় তাহাকেই বল (force) **বলে।**

বল একটি ভেক্‌টর রাশি, কারণ, ইহার মান ও অভিমুখ দুই-ই আছে। তাছাড়া যে-বিন্দুতে বল প্রয়োগ করা হয়, সেই বিন্দুকে বলের **প্রয়োগবিন্দু** (point of application) বলে।

2-7. দ্বিতীয় সূত্রের আলোচনা ঃ

দ্বিতীয় সূত্র হইতে আমরা বলের পরিমাপ (measurement of force) এবং বল ও ত্বরণের বা মন্দনের সম্বন্ধ নির্ণয় করিতে পারি। দ্বিতীয় সূত্র আলোচনা করিতে গেলে পূর্বে ভরবেগ (momentum) সম্বন্ধে কিছু বলা প্রয়োজন।

ভরবেগ (Momentum) **ঃ** ভর ও বেগের সমন্বয়ে কোন গতিশীল বস্তুতে যে-পরিমাণ গতির (quantity of motion) উৎপত্তি হয় তাহাকে ভরবেগ বলে এবং এই ভরবেগ বস্তুর ভর ও বেগের গুণফলের সমান।

যদি কোন বস্তুর ভর হয় 'm' এবং বেগ হয় 'v' তবে তাহার ভরবেগ$=m\times v$. একটি 2000 পাউণ্ড মোটর গাড়ী যদি সেকেণ্ডে 44 ফুট বেগে দৌড়ায় তবে তাহার ভরবেগ$=2000\times 44=88000$ পাউণ্ড-ফুট/সেকেণ্ড।

ভরবেগের একক ঃ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভরবেগের একক পাউণ্ড-ফুট/সেকেণ্ড এবং ইহা এক পাউণ্ড ভর এক ফুট/সেকেণ্ড গতিবেগে চলিলে যে ভরবেগ হয় তাহার সমান।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরবেগের একক গ্র্যাম-সে.মি./সেকেণ্ড এবং ইহা এক গ্র্যামভর এক সে.মি./সেকেণ্ড গতিবেগে চলিলে যে ভরবেগ হয় তাহার সমান।

এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে ভরবেগের একক কিলোগ্রাম-মিটার/সেকেণ্ড এবং ইহা এক কিলোগ্র্যাম ভরের এক মিটার/সেকেণ্ড গতিবেগ সম্পন্ন ভরবেগের সমান।

একটি উদাহরণ লইলে ভরবেগ সম্বন্ধে ধারণা স্পষ্ট হইবে। ধরা যাউক একটি মোটর গাড়ী ঘন্টায় 20 মাইল বেগে চলিতেছে। গাড়ীটিকে থামাইতে কিছু বলের প্রয়োজন। যদি একই বেগে একটি মালপূর্ণ লরী চলে তবে উহাকে থামাইতে আরও বেশী বলের প্রয়োজন, কারণ, লরীটির ভর অনেক বেশী। যদি পূর্বোক্ত মোটর গাড়ীটি দ্বিগুণ বেগে চলে তবে তাহাকে থামাইতে পূর্বোক্ত বলের দ্বিগুণ বল লাগিবে। লরীটির বেলাতেও ঐ একই কথা। সুতরাং গতিশীল বস্তুর গতির পরিমাণ—যাহা তাহার সম্মিলিত গতি ও ভরের উপর নির্ভর করে—তাহাকেই বলা হয় ভরবেগ।

(a) **বলের পরিমাপ ও $P=mf$ সমীকরণ** (Measurement of force and the equation $P=mf$) ঃ মনে কর, কোন বস্তুর ভর 'm' এবং ইহা 'u' বেগে চলিতেছে। এখন 't' সময় ধরিয়া বস্তুটির উপর যদি P বল প্রয়োগ করা হয়, তবে তাহার বেগ পরিবর্তিত হইবে। ধরা যাক, 't' সময় পরে তাহার বেগ হইল v.

সুতরাং বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তন$=mv-mu$.

অথবা, ভরবেগের পরিবর্তনের হার$=\dfrac{mv-mu}{t}=\dfrac{m(v-u)}{t}$

$$=mf \left\{\because \text{ ত্বরণ } f=\frac{v-u}{t}\right\}$$

এখন, দ্বিতীয় সূত্র হইতে আমরা জানি যে,

$P\propto$ ভরবেগের পরিবর্তনের হার

বা, $P\propto mf$

সুতরাং $P=K.mf$ [K একটি ধ্রুবক (constant)]

এখন যদি আমরা ধরিয়া লই যে একক ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া একক ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে যে-বল, তাহাই বলের একক অর্থাৎ, $P=1$, যখন $m=1$ এবং $f=1$, তাহা হইলে $K=1$.

বলের এককের উপরি-উক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাইতেছি $P=mf$ অর্থাৎ **বল=ভর×ত্বরণ।**

ইহাই বলের মান নির্দেশক সমীকরণ।

এই সমীকরণ হইতে আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি জানিতে পারি ঃ

(ক) যদি কোন বল কোন ভর 'm'-এর উপর ক্রিয়া করিয়া f ত্বরণ সৃষ্টি করে তবে, বলের পরিমাণ=ভর $(m)\times$ত্বরণ (f)।

(খ) যদি কোন বল P কোন গতিশীল ভর 'm'-এর উপর এমনভাবে ক্রিয়া করে যে বলের অভিমুখ এবং ভরের গতির অভিমুখ একই, তবে বস্তুটির গতি ত্বরান্বিত হইবে এবং ত্বরণ $f=\dfrac{P}{m}$।

(গ) যদি কোন বল P কোন গতিশীল ভর 'm'-এর উপর এমনভাবে ক্রিয়া করে যে, বলের অভিমুখ এবং ভরের গতির অভিমুখ বিপরীত, তবে বস্তুটির গতি মন্দীভূত হইবে এবং মন্দন $f=\dfrac{P}{m}$।

(b) **বস্তুর ভরই জড়তার পরিমাপ ঃ** পূর্বের আলোচনা হইতে দেখা যায় যে $f=\dfrac{P}{m}$; এখন, বল (P) পরিবর্তন না করিলে, $f\propto\dfrac{1}{m}$; অর্থাৎ একই বল

দুইটি বস্তুর উপর ক্রিয়া করিলে যাহার ভর বেশী তাহার ত্বরণ কম হইবে। ঘুরাইয়া বলিলে দাঁড়ায় যে, একই ত্বরণ সৃষ্টি করিতে বা একই গতিবেগ পরিবর্তন করিতে কম ভরের বস্তুর তুলনায় বেশী ভরের বস্তুতে বেশী বল প্রয়োজন হয়। সুতরাং বলা যায়, বস্তুর ভরই উহার জড়তার পরিমাপ।

(c) **বিভিন্ন পদ্ধতিতে বলের একক** (Units of force in different systems) :

(ক) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একককে বলা হয় **ডাইন** (Dyne)—ইহা এমন বল যে, এক গ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 1 cm/sec^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে।

(খ) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একককে বলা হয় **পাউণ্ডাল** (Poundal)—ইহা এমন বল যে, এক পাউণ্ড ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 1 ft/sec^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে।

(গ) এম. কে. এস্. পদ্ধতিতে বলের একককে বলা হয় **নিউটন** (Newton)। এক নিউটন এমন বল যাহা এক কিলোগ্র্যাম ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 1 মিটার/সেকেণ্ড^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে। স্বনামধন্য বিজ্ঞানী নিউটনের নাম অনুসারে এই এককের নামকরণ করা হইয়াছে।

এই তিন একককে অর্থাৎ ডাইন, নিউটন, পাউণ্ডালকে পরম (absolute) একক বলে। মনে রাখিতে হইবে যে, $P=mf$ এই সমীকরণ প্রয়োগ করিতে হইলে বলকে সর্বদা পরম এককে প্রকাশ করিয়া লইতে হইবে।

(i) **নিউটন ও ডাইনের সম্বন্ধ :** আমরা জানি,

$$1 \text{ নিউটন} = 1 \text{ কিলোগ্র্যাম} \times 1 \text{ মিটার/সেকেণ্ড}^2$$
$$= 10^3 \text{ গ্র্যাম} \times 10^2 \text{ সে.মি./সেকেণ্ড}^2$$
$$= 10^5 \text{ ডাইন।}$$

(ii) **পাউণ্ডাল ও ডাইনের সম্বন্ধ :** আমরা জানি,

$$1 \text{ পাউণ্ডাল} = 1 \text{ পাউণ্ড} \times 1 \text{ ফু./সে}^2.$$
$$= 453{\cdot}6 \text{ গ্র্যাম} \times 30{\cdot}48 \text{ সে. মি./সে.}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ ই.} = 2{\cdot}54 \text{ সে. মি.} \\ 1 \text{ ফু.} = 30{\cdot}48 \text{ সে. মি.} \end{array} \right\}$$
$$= 453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \text{ ডাইন}$$
$$= 13{,}825{\cdot}728 \text{ ডাইন}$$

সংক্ষেপে 1 পাউণ্ডাল = **13,800 ডাইন**।

(iii) **নিউটন ও পাউণ্ডালের সম্পর্ক :** আমরা জানি,

$$1 \text{ নিউটন (N)} = 1 \text{ কিলোগ্র্যাম} \times 1 \text{ মিটার/সে}^2$$
$$= 2{\cdot}2 \text{ পাউণ্ড} \times 3{\cdot}28 \text{ ফুট/সে}^2$$
$$= 7{\cdot}22 \text{ পাউণ্ডাল (প্রায়)}$$

উদাহরণঃ (1) 175 গ্র্যাম ভরের উপর 500 ডাইন বল প্রয়োগ করা হইল; বস্তুটির ত্বরণ কত হইবে?

উ। এস্থলে, $P=500$ ডাইন; $m=175$ গ্র্যাম

আমরা জানি, $P=mf$ (f=ত্বরণ)

অর্থাৎ, $500=175\times f$

অথবা, $f=\frac{500}{175}=2{\cdot}86$ cm/sec^2

(2) 20 lb ভরের উপর 5 sec ব্যাপী একটি স্থিরমানের বল ক্রিয়া করিয়া বস্তুটির 15 ft/sec গতিবেগ উৎপন্ন করিল। বস্তুটির কোন প্রাথমিক গতি না থাকিলে কত বল বস্তুটির উপর ক্রিয়া করিয়াছিল?

উ। এস্থলে সর্বাগ্রে ভরটির ত্বরণ নির্ণয় করিতে হইবে। অঙ্ক হইতে আমরা জানিতে পারিতেছি, $u=0$; $v=15$ ft/sec; $t=5$ sec; $f=?$

আমার জানি, $v=u+ft$; কাজেই $15=0+f.5 \therefore f=3$ ft/sec^2

এখন, $m=20$ lb; $f=3$ ft/sec^2; $P=?$

আমরা জানি, $P=m.f$ কাজেই, $P=20\times3=60$ poundals.

(3) 10 গ্র্যাম ভরের একটি বস্তু মসৃণ অনুভূমিক তলে অবস্থিত আছে। যদি 96 ডাইনের একটি বল বস্তুর উপর ক্রিয়া করে তবে 10 সেকেণ্ড সময়ে বস্তুটি কতদূর যাইবে?

উ। এখানে, $P=96$ ডাইন; $m=10$ গ্র্যাম; $f=?$

আমরা জানি, $P=m.f$; কাজেই, $96=10f$ অথবা, $f=\frac{96}{10}$ সে. মি./সে.^{2}

আবার, $u=0$; $f=\frac{96}{10}$ সে. মি./সে.^{2}; $t=10$ সেকেণ্ড; $S=?$

এক্ষেত্রে, $S=ut+\frac{1}{2}ft^2=0+\frac{1}{2}\times\frac{96}{10}\times(10)^2=480$ সে. মি.।

(4) 16 gm. ভরের উপর একটি বল 3 sec. ব্যাপী কাজ করিবার পর বলের ক্রিয়া বন্ধ হইল। পরবর্তী 3 sec. সময়ে বস্তুটি 81 cm. পথ গেল। ভরের উপর কত বল ক্রিয়া করিয়াছিল?

উ। বলের ক্রিয়া বন্ধ হইবার পরবর্তী 3 sec. সময়ে বস্তুর গতিবেগ ছিল সুষম। এই গতিবেগ v ধরিলে, আমরা পাই $81=v\times3$ অথবা $v=27$ cm/s.

বলা বাহুল্য বস্তু এই গতিবেগ আহরণ করিল প্রথম 3 sec. ব্যাপী বল ক্রিয়া করার জন্য। ঐ সময় বস্তুর ত্বরণ f হইলে, $v=f\times t$ সমীকরণ হইতে পাই, $27=3\times f$ অথবা, $f=9$ cm/s^2; কাজেই ক্রিয়ারত বল P হইলে $P=m.f$ অথবা $P=16\times9=144$ dynes.

(5) একটি 100 ডাইন বল একটি 1 কিলোগ্র্যাম ভরের উপর 0·1 sec ধরিয়া প্রযুক্ত হইল। যদি ভরটির প্রারম্ভিক বেগ 1 মিটার/সেকেণ্ড হয়, তবে উহার অন্তিম বেগ বাহির কর। [*M. Exam. 1987*]

উ। আমরা জানি, $P=m.f$; এখানে $P=100$ dyne; $m=1$ kg= 1000 gm.

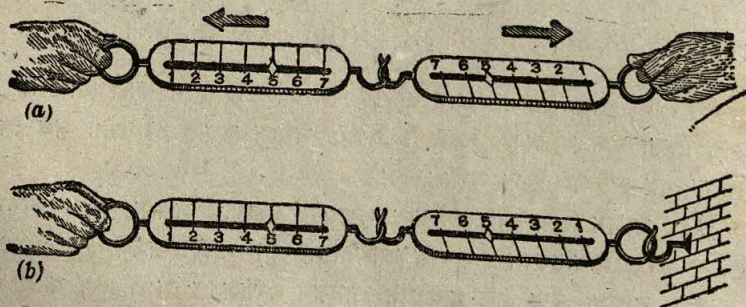
$$\therefore\ 100=1000\times f \qquad \therefore\ f=\tfrac{1}{10}\ \text{cm/s}^2$$

আবার, $v=u+f.t.=100+\frac{1}{10}\times 0{\cdot}1=100{\cdot}01$ cm/s

[1 মিটার/সে.=100 সে.মি./সে.]

2-8. তৃতীয় সূত্রের আলোচনা ঃ

ধরা যাউক, A এবং B দুইটি বস্তু। যদি A বস্তু B-র উপর বলপ্রয়োগ করে তাহা হইলে তৃতীয় সূত্রানুযায়ী B বস্তু A-র উপর সমান ও বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করিবে। A-এর দ্বারা প্রযুক্ত বলকে যদি ক্রিয়া বলা যায় তবে B-এর দ্বারা প্রযুক্ত বলকে প্রতিক্রিয়া বলা যাইবে। এই নিয়ম যে-কোন দুইটি বস্তুর বেলাতেই খাটিবে---বস্তু দুইটি সচল কি নিশ্চল হউক, সংস্পর্শে থাকুক কি না থাকুক। ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সম্বন্ধে দুইটি কথা সর্বদা মনে রাখিতে হইবে। প্রথমত, যতক্ষণ ক্রিয়া স্থায়ী হয় ততক্ষণ প্রতিক্রিয়াও স্থায়ী হয়। ক্রিয়া না থাকিলে প্রতিক্রিয়া থাকিতে পারে না।

ক্রিয়া এবং প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত---তাহা প্রদর্শন করাইবার জন্য একটি সহজ পরীক্ষা করা যাইতে পারে। দুইটি স্প্রীং তুলা লইয়া একটির হুকের সহিত অপরটির হুক আটকাও এবং স্প্রীং তুলা দুইটিকে দুই হাত দিয়া সমানভাবে বিপরীতমুখী টান দাও। বলা বাহুল্য, স্প্রীং তুলা দুইটির কাঁটা সমান পাঠ দেখাইবে। ধর, এই পাঠ হইল 5 lb [চিত্র 21 (*a*)]। এইবার

ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সমান
চিত্র নং 21

একটি তুলাকে কোন দৃঢ় অবলম্বনে, ধর, দেওয়ালের সঙ্গে আটকাইয়া অন্য তুলাতে

আগের মত সমান টান প্রয়োগ কর। এবারও দেখিবে, দুইটি স্প্রীং তুলাই পূর্বের ন্যায় 5 lb. টান দেখাইতেছে [চিত্র 21(*b*)] যেন, দেওয়ালে আটকানো স্প্রীং-তুলাকে পূর্বের ন্যায় কেহ হাতে ধরিয়া সমান ভাবে টানিতেছে। এক্ষেত্রে, দেওয়ালে আটকানো স্প্রীং তুলাতে প্রতিক্রিয়া পড়িতেছে এবং উভয়ের পাঠ সমান হওয়ায় প্রমাণ হইতেছে, ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত।

দ্বিতীয়ত, ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া দুইটি ভিন্ন বস্তুর উপর কাজ করে। সুতরাং উহারা সমান ও বিপরীত হইলেও উহাদের ক্ষেত্রে সাম্য প্রতিষ্ঠার (establishment of equilibrium) প্রশ্ন উঠিতে পারে না। সমান ও বিপরীতমুখী দুইটি বল একই বস্তুর উপর ক্রিয়া করিলে সাম্য প্রতিষ্ঠা হয়। তৃতীয় সূত্রের বহু দৃষ্টান্ত আমাদের প্রতিনিয়ত দৃষ্টিগোচর হয়। দু-একটি দৃষ্টান্ত আলোচনা করা যাউক।

(ক) যখন কোন আরোহী নৌকা হইতে লাফাইয়া তীরে পৌঁছায় তখন নৌকাটি পিছনে হটিয়া যায়। আরোহী নৌকার উপর যে বল প্রয়োগ করে তাহার ফলে নৌকাটি পিছনে সরে এবং নৌকা আরোহীর উপর যে সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া প্রয়োগ করে তাহার ফলে আরোহী তীরে পৌঁছায়।

(খ) যখন ব্যাট দ্বারা বলকে আঘাত করা হয় তখন বলের উপর ব্যাটের ক্রিয়ার ফলে বলটি সামনে ছুটিয়া যায় এবং ব্যাটের উপর বলের সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়ার ফলে ব্যাটও পিছনে সরিয়া যায়।

(গ) যখন বন্দুক হইতে গুলি ছোঁড়া হয় তখন যে বন্দুক ছোঁড়ে সে পিছন দিকে ধাক্কা অনুভব করে। ইহা গুলি কর্তৃক বন্দুকের উপর প্রতিক্রিয়ার ফল।

(ঘ) যখন দুইটি বস্তু পরস্পরের সংস্পর্শে আসে এবং একটি অপরটির উপর দিয়া চলিতে চেষ্টা করে তখন একটি প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হইয়া প্রথম বস্তুটির গতি বাধাপ্রাপ্ত হয়। এই ধরনের প্রতিক্রিয়াকে ঘর্ষণ (friction) বলে। দুইটি বস্তুর তল (surface) অমসৃণ হইলে এই প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয়।

বিভিন্ন যন্ত্রপাতিতে এই ঘর্ষণ বিশেষ অসুবিধাজনক কারণ, ইহার ফলে কিছু পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তির অপচয় হয়। এই কারণে ঘর্ষণ কমাইবার জন্য যন্ত্রপাতিতে পিচ্ছিলকারী তেল (lubricating oil) ব্যবহার করা হয়।

(ঙ) হাউই বা রকেটের গতি এই প্রতিক্রিয়া বলের জন্য সম্ভব হয়। হাউই বা রকেটে কিছু জ্বালানী রাখা হয়। ঐ জ্বালানী দহনের ফলে উচ্চ চাপবিশিষ্ট গ্যাস উৎপন্ন হইয়া একটি সরু নালীমুখ দিয়া নিচের দিকে সজোরে বাহির হইয়া আসে। ইহার ফলে যে প্রচণ্ড বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া-বল উৎপন্ন হয় তাহাই হাউই বা রকেটকে তীব্র বেগে আকাশের দিকে চালিত করে।

2-9. বিভিন্ন প্রকারের ক্রিয়া এবং প্রতিক্রিয়া (Different kinds of action and reaction) :

(1) **ঘাত** (Thrust) : মনে কর, টেবিলের উপর একখানি বই আছে। বইয়ের কিছু ওজন আছে বলিয়া উহা টেবিলের উপর নিম্নাভিমুখী একটি বল প্রয়োগ করিবে। ইহাকে আমরা ক্রিয়া বলিতে পারি। সঙ্গে সঙ্গে টেবিল বইয়ের উপর একটি উর্ধ্বাভিমুখী সমান বল প্রয়োগ করিবে। ইহা প্রতিক্রিয়া। এই ধরনের ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়াকে বলা হয় ঘাত। প্রকৃতপক্ষে যে-কোন বস্তুকে অপর একটি বস্তুর উপর রাখিলে উহারা পরস্পরের উপর ঘাত প্রয়োগ করিবে।

(2) **ধাক্কা** (Push) : তুমি যদি হাত দিয়া টেবিলে চাপ দাও টেবিলও তোমার হাতের উপর বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করিবে। তোমার হাতের চাপকে ক্রিয়া বলিলে ঐ ক্রিয়ার ফলে টেবিল তোমার হাত হইতে দূরে সরিয়া যাইবার চেষ্টা করিবে। আবার, টেবিল তোমার হাতে যে প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি করিল তাহার ফলে টেবিল তোমার হাতকে দূরে সরাইয়া দিবার চেষ্টা করিবে।

এইরূপ দুইটি বস্তু সংস্পর্শে আসিয়া যে ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে যাহার ফলে উহারা পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যাইতে চায় তাহাকে ধাক্কা বলা হয়।

(3) **টান** (Pull or tension) : মনে কর, একটি খুঁটির সহিত দড়ি বাঁধিয়া তুমি টানিতেছ। দড়ির মাধ্যমে তুমি যে-বল খুঁটির উপর প্রয়োগ করিলে তাহা ক্রিয়া। খুঁটি দড়ির মাধ্যমে তোমার উপর সমান ও বিপরীত বল প্রয়োগ করিবে, উহা প্রতিক্রিয়া। ক্রিয়ার ফলে তুমি খুঁটিকে তোমার দিকে আকর্ষণ করিলে, আবার প্রতিক্রিয়ার ফলে খুঁটি তোমাকে আকর্ষণ করিল।

এইরূপ দুইটি বস্তু সংস্পর্শে আসিয়া (কোন বস্তুর মাধ্যমে) যে-ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে যাহার ফলে উহারা পরস্পরের দিকে সরিয়া আসিতে চায় তাহাকে টান বলে।

(4) **আকর্ষণ** (Attraction) ও **বিকর্ষণ** (Repulsion) : একটি চুম্বককে এক টুকরা লোহার কাছে আন। দেখিবে কিছু দূর হইতেই লোহার টুকরাকে চুম্বক আকর্ষণ করিয়া নিজের দিকে টানিয়া লইতেছে। তেমনি, একটি চৌম্বক উত্তর মেরু এবং চৌম্বক দক্ষিণ মেরু অথবা একটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত বস্তু ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত বস্তুকে দূর হইতেই পরস্পরের দিকে টানিয়া লয়।

আবার বিপরীত ঘটনা দেখা যায় দুইটি একই ধরনের চুম্বক মেরু অথবা একই ধরনের তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর ভিতর। উহারা দূর হইতে পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

এইরূপ দুইটি বস্তু দূর হইতে ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার ফলে যদি পরস্পরের দিকে সরিয়া আসে তবে উহাকে আকর্ষণ বলা হয় এবং যদি পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যায় তবে উহাকে বিকর্ষণ বলা হয়।

(5) **ঘর্ষণ** (Friction) : যখন কোন বস্তু অপর একটি বস্তুর তল বাহিয়া (along the surface) চলিতে চেষ্টা করে তখন উহাদের ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার ফলে ঐ বস্তুটির গতি বাধাপ্রাপ্ত হয়। ইহাকে ঘর্ষণ বলে। তল অমসৃণ হইলে ঘর্ষণ বৃদ্ধি পায়।

2·10. লিফ্‌টে প্রতিক্রিয়া (Reaction in a lift) :

মনে কর, এক ব্যক্তি লিফ্‌টের উপর দাঁড়াইয়া আছে। লিফ্‌ট উপরে উঠিতে থাকিলে বা নিচে নামিতে থাকিলে, লিফ্‌টের উপর কি প্রতিক্রিয়া হইবে ? আমরা নিম্নলিখিত উপায়ে এই সমস্যার সমাধান করিতে পারি :

(i) **যখন লিফ্‌ট f ত্বরণ লইয়া ঊর্ধ্বে উঠিতেছে** : ব্যক্তির ভর 'm' হইলে ব্যক্তি তাহার ওজন mg-এর সমান ঘাত লিফ্‌টের উপর প্রয়োগ করিবে। লিফ্‌ট ব্যক্তির উপর যে প্রতিক্রিয়া R সৃষ্টি করিবে, তাহা mg হইতে বেশী হইতে হইবে, কারণ ঐ প্রতিক্রিয়ার ফলে লিফ্‌ট নিম্নাভিমুখী ওজন কাটাইয়া ত্বরণ সহ ঊর্ধ্বে উঠিবে। এ অবস্থায় লব্ধ বল$=R-mg$ এবং নিউটনের সূত্রানুযায়ী এই লব্ধ বল ব্যক্তির f ত্বরণ সৃষ্টি করিতেছে বলিয়া $R-mg=mf$ বা, $R=m(g+f)$.

এক্ষেত্রে প্রতিক্রিয়া ব্যক্তির ওজন 'mg' অপেক্ষা বেশী হওয়ায় ব্যক্তি নিজেকে খুব ভারী মনে করিবে।

(ii) **যখন লিফ্‌ট f ত্বরণ লইয়া নিচে নামিতেছে** : বস্তুর ওজন 'mg' প্রতিক্রিয়া R অপেক্ষা বেশী হইবে, কারণ ব্যক্তি f ত্বরণ লইয়া নিচে নামিতেছে। এক্ষেত্রে লব্ধ বল$=mg-R$ এবং নিউটনের সূত্রানুযায়ী $mg-R=mf$ বা $R=m(g-f)$; এক্ষেত্রে ব্যক্তি নিজেকে হালকা বোধ করিবে।

যখন $g=f$ অর্থাৎ লিফ্‌ট 'g' ত্বরণ লইয়া নিচে নামে তখন $R=0$; এই কারণে কোন লোক মাথায় ভারী বোঝা লইয়া যদি উপর হইতে নিচে লাফ দেয় তবে শূন্যে অবস্থান কালে তাহার মাথায় কোন চাপ পড়িবে না অথবা মাথায় ভারী বোঝা আছে বলিয়া মনে হইবে না।

(iii) **যখন লিফ্‌ট স্থির** : এক্ষেত্রে $f=0$; কাজেই $R=mg$ অর্থাৎ প্রতিক্রিয়া ব্যক্তির ওজনের সমান। তাছাড়া লিফ্‌ট যদি সুষম গতিবেগে (uniform velocity) উপরে ওঠে বা নিচে নামে তখনও $f=0$ এবং সেক্ষেত্রেও প্রতিক্রিয়া ব্যক্তির ওজনের সমান হয়।

উদাহরণ : 60 kg ওজনের এক ব্যক্তি লিফ্‌টের উপর দাঁড়াইয়া আছে। লিফ্‌ট ব্যক্তির উপর কি প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করিবে যখন (i) লিফ্‌ট স্থির, (ii) লিফ্‌ট 490 cm/s² ত্বরণ লইয়া ঊর্ধ্বে উঠিতেছে, (iii) লিফ্‌ট সুষম গতিবেগে উপরে উঠিতেছে, (iv) লিফ্‌ট 490 cm/s² মন্দন লইয়া ঊর্ধ্বে উঠিতেছে। $g=980$ cm/s².

উত্তর : (i) যখন লিফ্‌ট স্থির, তখন প্রতিক্রিয়া R=ব্যক্তির ওজন $=60$ kg-wt.

(ii) যখন লিফ্‌ট ঊর্ধ্বে ওঠে, তখন $R=m(g+f)=m\left(g+\frac{g}{2}\right)=\frac{3}{2}mg=\frac{3}{2}\times 60=90$ kg-wt $\left[f=490 \text{ cm/s}^2=\frac{g}{2}\right]$

(iii) এক্ষেত্রে $f=0$ বলিয়া R=ব্যক্তির ওজন $=60$ kg-wt.

(iv) যেহেতু মন্দন $f=-\frac{g}{2}$, সেইহেতু $R=m\left(g-\frac{g}{2}\right)=\frac{1}{2}mg=\frac{1}{2}\times 60$ $=30$ kg-wt.

2·11. বলের ঘাত (Impulse of a force) :

বস্তুর উপর কোন বল কিছু সময় ব্যাপী ক্রিয়া করিলে, ঐ বলের মান ও ক্রিয়া কালের গুণফলকে বলের ঘাত বলা হয়।

ধর, বস্তুর উপর P বল t সময়ব্যাপী ক্রিয়া করিল। অতএব, বলের ঘাত $=P.t.$ এখন বল ক্রিয়া করার ফলে বস্তুর বেগ যদি u হইতে পরিবর্তিত হইয়া v হয়, তবে বস্তুর যে ত্বরণ f সৃষ্টি হয়, তাহা $f=\frac{v-u}{t}$. আবার নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে পাই,

$$P=mf=\frac{m(v-u)}{t} \quad \therefore \text{ বলের ঘাত}=P.t=\frac{m(v-u)t}{t}=mv-mu$$

=ভরবেগের পরিবর্তন।

প্রশ্নাবলী

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির যথাযথ সংজ্ঞা লেখ :

(a) (ক) দ্রুতি, (খ) বেগ, (গ) ত্বরণ, (ঘ) মন্দন। [*M. Exam. 1987*]

(b) দ্রুতি ও বেগের সি. জি. এস. ও এম্. কে. এস্. এককগুলি লিখ। [*M. Exam. 1987*]

(c) ভরবেগ বলিতে কি বুঝ? ইহার সি. জি. এস. ও এম্. কে. এস্. এককগুলি লেখ। [*M. Exam. 1988*]

2. পার্থক্য দেখাও : বেগ ও দ্রুতি।

3. $v=u+ft$. সমীকরণটি প্রমাণ কর।

4. একটি বস্তু স্থিতিশীল অবস্থা হইতে সুষম ত্বরণ লইয়া চলিতেছে। বস্তুটির (i) বেগ-সময় এবং (ii) দূরত্ব-সময় লেখ আঁকিয়া দেখাও।

5. সরণ, বেগ ও ত্বরণের সংজ্ঞা দাও। দ্রুতি ও বেগের মধ্যে পার্থক্য কি? [M. Exam. 1983]

6. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ :

(a) গতিবেগ শূন্য হইয়া কোন বস্তুর ত্বরণ থাকিতে পারে?

(b) ত্বরণহীন অবস্থায় কোন বস্তুর গতিবেগ থাকিতে পারে?

(c) সুষম দ্রুতিতে গতিশীল বস্তুর গতিবেগ কি অসম হইতে পারে?

(d) সুষম গতিবেগে গতিশীল বস্তুর দ্রুতি কি অসম হইতে পারে?

7. লেখচিত্রের সাহায্যে নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি প্রতিষ্ঠা কর : (i) $v=u+ft$ (ii) $v^2=u^2+2fs$.

8. $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$ এই সমীকরণটি লেখচিত্রের সাহায্যে প্রমাণ কর। ত্বরণের একক প্রকাশ করিবার জন্য 'প্রতিসেকেণ্ড' কথাটি দুইবার ব্যবহৃত হয় কেন বুঝাও। [M. Exam., 1979, '84]

9. নিউটনের গতিসূত্র বর্ণনা কর এবং প্রথম ও তৃতীয় সূত্র উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [M. Exam., 1981]

10. নিউটনের গতিসূত্র বর্ণনা করিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে প্রথম সূত্র হইতে বলের সংজ্ঞা এবং দ্বিতীয় সূত্র হইতে বলের পরিমাপ করা যায়। [M. Exam., 1980]

11. পদার্থের জাড্য বলিতে কি বুঝায়? উদাহরণ দিয়া বুঝাও।

12. নিউটনের গতিসূত্র হইতে $P=mf$ সমীকরণটি প্রমাণ কর এবং তাহা হইতে দুই পদ্ধতিতে বলের চরম একক বুঝাইয়া লেখ। [M. Exam., 1980, '82, '84]

13. নিউটনের গতিসূত্রগুলি বিবৃত কর। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক কিভাবে নির্ধারিত হয়? [M. Exam., 1983]

14. প্রমাণ কর $P=mf$; যেখানে $P=$বল, $m=$ভর এবং $f=$ত্বরণ। সি. জি. এস্. এবং এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক কি? উহাদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর। [M. Exam., 1984]

15. নিউটনের গতিসূত্রগুলি বিবৃত কর। ডাইন এবং পাউণ্ডাল কি? [M. Exam., 1985]

16. এক ব্যক্তি লিফ্‌টের মেঝেতে দাঁড়াইয়া আছে। লিফ্‌ট f ত্বরণ লইয়া নিচে নামিতে শুরু করিলে নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কি ঘটিবে? (i) $f<g$ (ii) $f=g$ এবং (iii) $f=0$.

17. B বস্তুর উপর আর একটি বস্তু A চাপানো আছে। কি শর্তে A এবং B বস্তুদ্বয়ের ভিতর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া—(i) A বস্তুর ওজনের সমান (ii) A বস্তুর ওজন অপেক্ষা বেশী (iii) A বস্তুর ওজন অপেক্ষা কম (iv) শূন্য হইবে তাহা ব্যাখ্যা কর। প্রতি ক্ষেত্রে প্রতিক্রিয়ার মান নির্ণয় কর।

18. কোন বস্তু বায়ুমধ্য দিয়া অবাধ অবতরণ করিলে, উহা ওজন শূন্য হয়। এই উক্তির ব্যাখ্যা কর।

19. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া আলোচনা কর :

(i) টেবিলের উপর রাখা একখানা বই (ii) দড়ি টানাটানি প্রতিযোগীতায় দুই দলের দড়ি টানা (iii) নৌকা হইতে এক ব্যক্তির লাফ দিয়া তীরে পৌঁছানো।

20. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :

(i) ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া কি একই বস্তুর উপর ক্রিয়া করে?

(ii) স্থির মানের গতিবেগে ধাবমান একটি ট্রেনের কামরায় কোন বালক যদি একটি বলকে খাড়া উর্ধ্বে ছুঁড়িয়া দেয় তবে বলটি কি তাহার হাতে পড়িবে?

(iii) চলন্ত ট্রেন হঠাৎ থামিয়া গেলে যাত্রীরা সম্মখের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে কেন? হঠাৎ চলিতে আরম্ভ করিলে পিছনের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে কেন?

(iv) গাড়ীর ভিতর বসিয়া আরোহী গাড়ীকে ঠেলিলে কি গাড়ী চলিবে?

(v) নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে কিরূপে প্রথম গতিসূত্র প্রতিষ্ঠা করা যায়?

● **Objective type :**

21. (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত কতকগুলি উক্তি আছে এবং প্রত্যেকের পাশে একটি করিয়া ব্যাখ্যা দেওয়া আছে। একটিমাত্র বাক্যে কারণ দর্শাইয়া বল যে ব্যাখ্যাগুলি শুদ্ধ কি অশুদ্ধ :

উক্তি	ব্যাখ্যা
(a) চলন্ত রেলখাড়ির ভিতর একটি বালক খাড়া উর্ধ্বে একটি বল ছুড়িল। গাড়ি সুষম গতিবেগে চলিলে, বলটি বালকের হাতে আসিয়া পড়িবে।	ইহা গতিজাড্যের দরুন ঘটে।
(b) কোন বস্তুর গতির অভিমুখের বিপরীত দিকে বস্তুর উপর বলপ্রয়োগ করিলে, বস্তুর গতি ধীরে ধীরে হ্রাস পায়।	বল বস্তুতে একটি মন্দন সৃষ্টি করে।
(c) যখন কোন লোক বন্দুক হইতে গুলী ছোড়ে, তখন সে পিছনের দিকে ধাক্কা অনুভব করে।	ইহা বন্দুক কর্তৃক ঘাতবলের সৃষ্টির জন্য হয়।
(d) একই বল বিভিন্ন ভরের বস্তুর উপর ক্রিয়া বিভিন্ন ত্বরণ উৎপন্ন করে।	বল ধ্রুবক হওয়ায়, বস্তুর ত্বরণ বস্তুর ভরের সমানুপাতিক।
(e) ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত হইলেও সাম্য সৃষ্টি করে না।	উহারা একই বস্তুর উপর ক্রিয়া করে না।

22. ঠিক উত্তরটি বাছিয়া লও :

(i) একটি ঘুরন্ত বৈদ্যুতিক পাখার সুইচ বন্ধ করিয়া দিলেও কিছুক্ষণ পাখা ঘোরে কারণ, (ক) ঘুরন্ত বায়ুপ্রবাহ, (খ) গতি জাড্য, (গ) ভরবেগের জন্য।

(ii) নিম্নলিখিত সূত্রগুলির কোন্‌টিকে জড়তার সূত্র বলে? (ক) দ্বিতীয় গতিসূত্র (খ) তৃতীয় গতিসূত্র, (গ) প্রথম গতিসূত্র।

(iii) স্থির দ্রুতিসম্পন্ন বস্তুর, (ক) ত্বরণ থাকিবেই, (খ) ত্বরণ থাকিতে পারে, (গ) ত্বরণ থাকিবে না, (ঘ) স্থির গতিবেগ থাকিবে।

(iv) যখন কোন বস্তুর ত্বরণ সৃষ্টি হয় তখন, (ক) উহার দ্রুতি বৃদ্ধি পায়, (খ) উহার গতিবেগ বৃদ্ধি পায়, (গ) উহা পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমখী পড়ে, (ঘ) উহার উপর বল ক্রিয়া করে।

(v) 1 kg ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 1 metre/s^2 ত্বরণ উৎপন্ন করে যে বল তাহাকে বলে, (ক) ডাইন, (খ) পাউণ্ডাল, (গ) নিউটন।

অঙ্ক ঃ

23. একটি বস্তুকণার সেকেণ্ডে এক ফুট পরিমাণ বেগ এক মিনিট পরে ঘন্টায় এক মাইল বেগে পরিণত হইল। যদি গজ ও মিনিটকে যথাক্রমে দৈর্ঘ্য ও সময়ের একক হিসাবে ধরা যায় তবে ঐ হিসাবে বস্তুকণার ত্বরণ বাহির কর। [Ans. $9\frac{1}{3}$ yd/min^2]

24. একটি বস্তুকণা স্থির অবস্থা হইতে চলিতে শুরু করিয়া 2 মিনিটে ঘন্টায় 60 মাইল বেগ সংগ্রহ করিল। এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুকণাটির ত্বরণ কত?

[Ans. 0·73 ft/sec^2]

25. কোন বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ 200 ft/sec ও ত্বরণ 10 ft/sec^2 হইলে $\frac{1}{4}$ মিনিটে বস্তুকণা কত বেগ সঞ্চয় করিবে? [Ans. 350 ft/sec.]

26. একটি ট্রেন 60 miles/hr. বেগ লইয়া চলিতে চলিতে ব্রেক কষিল। ইহার ফলে 4 ft/sec^2 মন্দন সৃষ্টি হইল। 10 sec পরে ট্রেনটির গতিবেগ কত হইবে? কতক্ষণ পরে ট্রেনটি স্থির অবস্থায় আসিবে?

[Ans. 48 ft/sec^2 ; 22 sec.] [*M. Exam., 1981*]

27. একটি বস্তুকণা 80 cm/sec প্রাথমিক বেগসহ চলিয়া 10 sec সময়ে 1000 cm পথ অতিক্রম করিল। বস্তুকণার ত্বরণ কত? [Ans. 4 cm/sec^2]

28. একটি ট্রেন 30 ft/sec প্রাথমিক বেগে চলিতে শুরু করিয়া 3 ft/sec^2 ত্বরণ সংগ্রহ করিল। 15 sec. সময়ে ট্রেনটি কত পথ অতিক্রম করিবে? [Ans. 787·5 ft.]

29. একটি বাস 40 ft/sec বেগে চলিতেছে। ব্রেকের দ্বারা কতখানি মন্দন সৃষ্টি করিলে উহাকে 100 ft দূরত্বের মধ্যে থামানো যাইবে? থামিতে কত সময় লাগিবে?

[Ans. 8 ft/sec^2 ; 4·5 sec] [*M. Exam., 1982*]

30. এক ডাইন বল 1 গ্রাম ভরের উপর 3 সেকেণ্ড ধরিয়া কাজ করিল। কত বেগ সৃষ্টি হইবে? [Ans. 3 cm/sec]

31. কত বল 10 lb ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 15 ft/sec^2 ত্বরণ সৃষ্টি করিবে?

[Ans. 150 poundals]

32. একটি 16 lb ভরসম্পন্ন বস্তুর উপর কোন বল 3 sec ধরিয়া কাজ করিবার পর আর কাজ করিল না। পরবর্তী 3 sec সময়ে বস্তুটি 81 ft পথ অতিক্রম করিল। বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ কত? [Ans. 144 poundals] [*M. Exam., 1980*]

33. একটি মোটর গাড়ীর ভর 400 lb এবং উহা 30 miles/hr. বেগে চলিতেছে। ব্রেক কষিয়া উহাকে 40 ft. দূরত্বের মধ্যে সম্পূর্ণ থামানো হইল। কত বল মোটর গাড়ীর উপর প্রযুক্ত হইল? [Ans. 9680 poundals]

34. 40 ft/sec বেগে ধাবিত 4 lb ভরের একটি বস্তুর বিরুদ্ধে 25 lb ওজনের বল আরোপ করা হইল। কতক্ষণ পরে এবং কত দূরত্বের মধ্যে বস্তুটি সম্পূর্ণ গতিহীন হইবে? [Ans. $\frac{1}{4}$ sec ; 5 ft]

35. 30 lb ওজনের একটি হাতুড়ী 16 ft উঁচু হইতে একটি গোঁজার উপর পড়িল এবং $\frac{1}{3}$ সেকেণ্ড সময়ে গতিহীন হইল। গোঁজার উপর কত বল প্রযুক্ত হইল? [Ans. 180 lb wt.]

36. 30 ft/sec. বেগে চলিতে চলিতে $5\frac{1}{2}$ oz ওজনের একটি ক্রিকেট বলকে $\frac{1}{5}$ সময়ে গতিহীন করা হইল। বলটিকে গতিহীন করিতে গড়ে কত বল প্রযুক্ত হইয়াছিল?
[16 oz=1 lb] [Ans. 51·56 poundals] [*H. S. Exam., 1963*]

37. একটি গাড়ি 5 ft/s² ত্বরণ প্রাপ্ত হইলে, স্থিতাবস্থা হইতে 4 sec সময়ে কতটা দূরত্ব অতিক্রম করিবে? [Ans. 40 ft] [*M. Exam., 1983*]

38. স্থিরাবস্থা হইতে একটি বস্তু 6 cm/s² ত্বরণ লইয়া চলিতে শুরু করিলে, 75 cm দূরত্ব অতিক্রম করিতে তাহার কত সময় লাগিবে? [Ans. 5 sec] [*M. Exam., 1985*]

39. 10 মিটার দূরত্বের মধ্যে একটি গাড়ির গতিবেগ 54 km/hr হইতে কমিয়া 18 km/hr হইল। গাড়ির মন্দন কত? কত সময় পরে উহা স্থিরাবস্থায় আসিবে? [Ans. (i) 10 metre/s² (ii) 1 sec]

[সংকেত : $v^2=u^2+2\,f.s.$ সমীকরণ প্রয়োগ কর।]

40. 120 metre দীর্ঘ একটি রেলগাড়ি 2 sec. সময়ে একটি সরু, লম্বা দণ্ড পার হইয়া গেল। গাড়ির গতিবেগ কত? 250 metre দীর্ঘ একটি প্লাটফর্ম অতিক্রম করিতে উহার কত সময় লাগিবে? [Ans. 60 metre/s ; 6·16 s]

41. 50 gm ভরের এক বস্তুকে 2 ft/sec² ত্বরণ দিতে হইলে কতটা বল প্রয়োগ করিতে হইবে? [Ans. 3048 dynes] [*M. Exam., 1984*]

42. স্থিরাবস্থা হইতে 2 gm ভরের একটি বস্তু 6 cm/s² ত্বরণ লইয়া চলিতে শুরু করিল। বস্তুকে ঐ ত্বরণ দিতে কত বলের প্রয়োজন হইল? [Ans. 12 dynes] [*M. Exam., 1985*]

43. 0·1 dyne-এর বলকে এম্. কে. এস্. এককে রূপান্তরিত কর।

[Ans. $\frac{1}{10^6}$ Newton] [*M. Exam., 1986*]

44. স্থিরাবস্থায় থাকা 10 gm ভরের একটি বস্তুর উপর 5 dyne বল প্রয়োগ করা হইল। 4 sec. পরে উহার ভরবেগ কত হইবে? [Ans. 20 gm-cm/s] [*M. Exam. 1986*]

[সংকেত : $f=\frac{\text{বল}}{\text{ভর}}=\frac{5}{10}$ cm/s^2 ; $v=f.t=\frac{5}{10}\times 4=2$ cm/s ; অতএব, ভরবেগ $=10\times 2=20$ gm-cm/s]

45. একটি মসৃণ টেবিলের উপর 200 gm ভরের একটি কাচের গোলক রাখা আছে। উহার উপর 800 dyne বল প্রয়োগ করিলে, 12 sec সময়ে উহা কত দূর যাইবে?

[Ans. 288 cm]

মহাকর্ষ, বস্তুর ওজন ও পতনশীল বস্তু
(Gravitation, Weight of a body and Falling bodies)

3·1. সূচনা ঃ

সূর্যের চতুর্দিক প্রদক্ষিণ করিয়া গ্রহগুলি সর্বদা ঘুরিতেছে। বহু পূর্বে বিশিষ্ট জ্যোতির্বিদ্ টাইকো ব্রেই ও জন্ কেপলার গ্রহগুলির এই গতি পর্যবেক্ষণ করিয়া কয়েকটি সূত্র দিয়াছিলেন। কিন্তু কেন গ্রহগুলি সর্বদা ঘুরিতেছে তাহার কোন কারণ তাঁহাদের জানা ছিল না। পরে, মহা-বিজ্ঞানী সার আইজাক নিউটন যখন তাঁহার মহাকর্ষ সূত্র (law of gravitation) প্রতিষ্ঠিত করেন তখন সেই কারণ বোঝা গেল। নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র সম্পর্কে একটি গল্প প্রচলিত আছে।

একদিন নিউটন তাঁহার গৃহ-সংলগ্ন বাগানে একটি আপেল গাছের নীচে বসিয়া পুস্তক পড়িতেছিলেন। এমন সময় একটি আপেল টুপ করিয়া তাঁহার কাছে মাটিতে পড়িল। তাহা দেখিয়া তৎক্ষণাৎ তিনি চিন্তা করিলেন, কেন আপেলটি নীচের দিকে পড়িল? উপরেও ত' উঠিতে পারিত। কোন জিনিসকে কিছু উপর হইতে ফেলিলে কেন সর্বদা মাটির দিকে আসে? নিশ্চয়ই পৃথিবী সবকিছু বস্তুকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। পরে তিনি দেখিলেন, এই আকর্ষণ শুধু পৃথিবী ও পার্থিব বস্তুর ভিতর নয়—এই বিশ্বের যে-কোন দুইটি বস্তুর ভিতরে বর্তমান আছে। এই ব্যাপারটিকে পরে তিনি একটি সূত্রের (law) আকারে উপস্থাপিত করিলেন।

স্যার আইজাক্ নিউটন
(1642-1727)

3·2. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র ঃ

এই বিশ্বের যে-কোন দুইটি বস্তুকণা পরস্পরকে আকর্ষণ করে এবং এই আকর্ষণের মান বস্তুকণা দুইটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের ভিতরকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্ত-আনুপাতিক (inversely proportional) এবং বস্তুকণাদ্বয়ের সংযোগী রেখা বরাবর ঐ বল ক্রিয়া করে। ইহাই নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র।

গাণিতিক নিয়মানুযায়ী বলা যাইতে পারে, বস্তুকণা দুইটির ভর m_1 ও m_2 ধরিলে এবং উহাদের ভিতরকার দূরত্ব d হইলে, উহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ বল যদি F হয় তবে,

$$F \propto m_1 m_2 \text{ এবং } F \propto \frac{1}{d^2}$$

অর্থাৎ, $F \propto \frac{m_1 m_2}{d^2}$ অথবা, $F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$ [G=ধ্রুবক]

'G'-কে বলা হয় মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (Gravitational constant)। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ইহার মান $6 \cdot 6576 \times 10^{-8}$; অর্থাৎ দুইটি 1 gm. ভরের বস্তুকণাকে 1 cm. দূরে রাখিলে উহারা পরস্পরের প্রতি $6 \cdot 6576 \times 10^{-8}$ dyne বল প্রয়োগ করিবে। ইহা সর্বপ্রথম পরীক্ষামূলকভাবে নির্ণয় করেন বিজ্ঞানী ক্যাভেণ্ডিস।

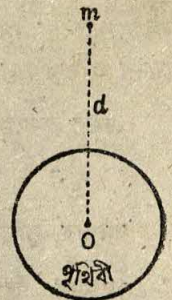
একথা মনে রাখা দরকার যে দুইটি বস্তুকণার (m_1 এবং m_2) ভিতর মহাকর্ষ বল প্রকৃতপক্ষে ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া বল। m_1 কণা m_2 কণার উপর উহাদের সংযোগী রেখা বরাবর আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে; আবার m_2 কণাও m_1 কণার উপর অনুরূপ আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। এই বল দুইটির মান সমান কিন্তু অভিমুখ বিপরীত।

3-3. অভিকর্ষ (Gravity) **ও অভিকর্ষজ ত্বরণ** (Acceleration due to gravity) ঃ

পৃথিবীর উপর বা পৃথিবীর কাছাকাছি অবস্থিত কোন বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণকে অভিকর্ষ বলা হয়। গাছ হইতে ফল পড়িলে অভিকর্ষের জন্য ফলটি পৃথিবী অভিমুখে ধাবিত হয় বা যে কোন বস্তুকে পড়িতে দিলে পৃথিবীর দিকে পড়ে।

নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে আমরা জানি যে, কোন বল যদি কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করে তবে বস্তুর গতি ত্বরান্বিত হয় অর্থাৎ একটি ত্বরণ সৃষ্টি হয়। সুতরাং অভিকর্ষ বলের ক্রিয়ায় যখন কোন বস্তু পৃথিবীর দিকে পড়ে তখন তাহারও একটি ত্বরণ হয়। এই ত্বরণকে বলা হয় **অভিকর্ষজ ত্বরণ** (acceleration due to gravity)। ইহাকে 'g' অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

চিত্র নং 22

মনে কর, 'm' ভরসম্পন্ন একটি বস্তু-বিন্দু পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে 'd' দূরত্বে রাখা আছে (22নং চিত্র)। এখন বস্তুটিকে ছাড়িয়া দিলে পৃথিবীর আকর্ষণে উহা নিম্নাভিমুখে পড়িবে। তখন উহার একটি ত্বরণ সৃষ্টি হইবে! ইহাকেই অভিকর্ষজ ত্বরণ বলা হয়।

পৃথিবীর ভর M এবং আকর্ষণ বল F হইলে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রানুযায়ী লেখা যাইতে পারে, $F = G\frac{Mm}{d^2}$

এস্থলে পৃথিবীর সমস্ত ভরকে উহার কেন্দ্র-বিন্দু O-তে একত্রীভূত করা আছে কল্পনা করিয়া লইতে হইবে।

এখন বস্তুটি যদি 'g' ত্বরণ লইয়া পড়ে তবে নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে আমরা জানি যে, $F=mg$

$$\therefore\ mg=G\frac{Mm}{d^2} \text{ or } g=\frac{G.M}{d^2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

যেহেতু G এবং M ধ্রুবক, কাজেই $g\propto\frac{1}{d^2}$ অর্থাৎ কোন স্থানে 'g'-এর মান পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে সেই স্থানের দূরত্বের বর্গের ব্যস্ত-আনুপাতিক।

সুতরাং ভূপৃষ্ঠ হইতে দূরত্ব বাড়িলে 'g'-এর মান কমিবে এবং দূরত্ব কমিলে 'g'-এর মান বাড়িয়া যাইবে। এই কারণে ভূ-পৃষ্ঠে 'g'-এর মান পাহাড়ের উপরে কোন স্থানের 'g'-এর মানের চাইতে বেশী। আবার পৃথিবী সম্পূর্ণ গোলাকার নয়; মেরুপ্রান্ত (polar region) একটু চাপা। সুতরাং পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে মেরুদ্বয়ের দূরত্ব নিরক্ষরেখার (equatorial region) দূরত্বের চাইতে কম। এই কারণে মেরুপ্রান্তে 'g'-এর মান নিরক্ষরেখা হইতে বেশী। নিম্নে তিনটি পদ্ধতিতে ভূপৃষ্ঠে 'g'-এর গড় মান দেওয়া হইল।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে $g=980$ সে. মি. প্রতি সে.^{2}

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে $g=32$ ফুট প্রতি সে.^{2}

এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে $=9{\cdot}8$ মি. প্রতি সে.^{2}

(a) **পৃথিবীর অভ্যন্তরে 'g'-এর মান ঃ** আবার, পৃথিবীর অভ্যন্তরে প্রবেশ করিলে—যেমন, কোন খনির ভিতরে ঢুকিয়া গেলে প্রমাণ করা যায়, সেখানে 'g'-এর মান ভূপৃষ্ঠ হইতে কম। অর্থাৎ ভূ-পৃষ্ঠের উপরে গেলেও 'g'-এর মান কমে, আবার পৃথিবীর অভ্যন্তরে গেলেও 'g'-এর মান কমে। পৃথিবীর কেন্দ্রে কোন আকর্ষণ নাই। সুতরাং সেখানে 'g'-এর মান শূন্য।

এখন ভূপৃষ্ঠে $d=R$ (পৃথিবীর ব্যাসার্ধ); কাজেই ভূপৃষ্ঠে $g=\frac{GM}{R^2}$

[(i) নং সমীকরণ হইতে]

আবার, পৃথিবীর গড় ঘনত্ব $=D$ হইলে, $M=\frac{4}{3}\pi R^3D$;

অতএব, ভূপৃষ্ঠে $g=\frac{G\times\frac{4}{3}\pi R^3D}{R^2}=\frac{4\pi}{3}\,G.R.D.$

(b) **বস্তু ভূমি অভিমুখে পড়ে কেন?** এই প্রসঙ্গে একটি কথা খুবই উল্লেখযোগ্য। বলা হইয়াছে 'm' বস্তুটিকে ছাড়িয়া দিলে, অভিকর্ষের ক্রিয়ায় উহা পৃথিবীর দিকে পড়িবে; কিন্তু অভিকর্ষের নিয়মানুযায়ী পৃথিবী ও বস্তু

পরস্পরের প্রতি সমান অভিকর্ষ বল প্রয়োগ করে। তবে বস্তুর দিকে পৃথিবী ধাবিত না হইয়া বস্তু পৃথিবীর দিকে ধাবিত হয় কেন? এই প্রশ্নের উত্তর খুব সহজ।

আমরা দেখিলাম, বস্তু ও পৃথিবী পরস্পরের প্রতি যে অভিকর্ষ বল F প্রয়োগ করে তাহা এইরূপ : $F=G\frac{Mm}{d^2}$

এখন বস্তু পৃথিবীর দিকে যে-ত্বরণ লইয়া অগ্রসর হয় তাহা আমরা নিম্ন-লিখিতরূপে পাইতে পারি ;

$$\text{বস্তুর ত্বরণ}=\frac{\text{বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল}}{\text{বস্তুর ভর}}=\frac{F}{m}=\frac{GMm}{d^2m}=\frac{GM}{d^2}$$

আবার, পৃথিবী বস্তুর দিকে যে-ত্বরণ লইয়া অগ্রসর হয় তাহা অর্থাৎ

$$\text{পৃথিবীর ত্বরণ}=\frac{\text{পৃথিবীর উপর প্রযুক্ত বল}}{\text{পৃথিবীর ভর}}=\frac{F}{M}=\frac{GMm}{Md^2}=\frac{Gm}{d^2}$$

$$\therefore\ \frac{\text{বস্তুর ত্বরণ}}{\text{পৃথিবীর ত্বরণ}}=\frac{M}{m}.$$

এখন, পৃথিবীর ভর (M) বস্তুর ভর (m) অপেক্ষা বহুগুণ ; সুতরাং বস্তুর ত্বরণ পৃথিবীর ত্বরণ অপেক্ষা বহুগুণ হইবে। ইহা হইতে সহজে বোঝা যায় কেন পৃথিবী বস্তুর দিকে ধাবিত হয় না—বস্তুই পৃথিবীর দিকে ধাবিত হয়।

3·4. উচ্চতার জন্য অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের পরিবর্তন (Variation of 'g' with altitude) :

ধর, পৃথিবীপৃষ্ঠে কোনও স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 'g' এবং h উচ্চতায় মান g_1 ; পৃথিবীকে সম্পূর্ণ গোলক মনে করিলে, আমরা জানি, যে কোন স্থানে 'g'-এর মান পৃথিবী কেন্দ্র হইতে ঐ স্থানের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। কাজেই পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R ধরিলে, $\frac{g}{g_1}=\frac{(R+h)^2}{R^2}=\frac{R^2+2R.h.+h^2}{R^2}$

$=1+\frac{2h}{R}+\frac{h^2}{R^2}$. পৃথিবীর ব্যাসার্ধের ($R$) তুলনায় h খুব ছোট বলিয়া $\frac{h^2}{R^2}$ অগ্রাহ্য করা যাইতে পারে।

$$\therefore\ \frac{g}{g_1}=1+\frac{2h}{R}\ \text{ অথবা }\ g_1=\frac{g.R}{R+2h}.$$

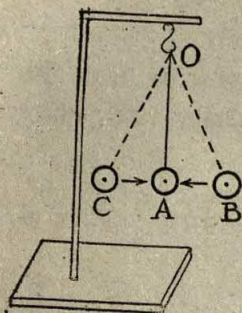
উদাহরণ : ভূপৃষ্ঠ হইতে কত উচ্চতায় গেলে সেখানকার অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ভূপৃষ্ঠের মানের 1% হইবে। পৃথিবীকে $6{\cdot}38\times10^8$ cm ব্যাসার্ধের গোলক বলিয়া মনে করিতে পারো।

উত্তর। ধর, নির্ণেয় উচ্চতা$=h$ cm. ঐ উচ্চতায় মহাকর্ষজ ত্বরণ g_1 এবং ভূপৃষ্ঠে g হইলে, $\frac{g_1}{g}=\frac{R^2}{(R+h)^2}$

প্রশ্নানুযায়ী, $\frac{g_1}{g}=\frac{1}{100}$ $\therefore$ $\frac{1}{100}=\frac{R^2}{(R+h)^2}$ অথবা $\frac{1}{10}=\frac{R}{R+h}$

অথবা $h=9\times R=9\times 6{\cdot}38\times 10^8$ cm$=57{\cdot}42\times 10^3$ km.

3·5. কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান নির্ণয় (Determination of 'g' at a place) ঃ

আংটা সহ একটি গোল ছোট পিতলের বল লইয়া এক গাছা সূতা আংটাতে আটকাও। অতঃপর সূতার অপর প্রান্ত কাঠের শক্ত অবলম্বনে আটকাইয়া বলটিকে ঝুলাইয়া দাও। ইহাকে সরল দোলক (simple pendulum) বলে। ধর, A হইল বলটির স্থির অবস্থান। এখন বলটিকে একটু ডানদিকে B বিন্দু পর্যন্ত টানিয়া ছাড়িয়া দিলে বলটি BC বরাবর এদিক-ওদিক দুলিতে থাকিবে।

চিত্র নং 22(i)

বলটি, ধর, B বিন্দু হইতে C বিন্দুতে গিয়া পুনরায় ঠিক B বিন্দুতে ফিরয়া আসিতে যে সময় লইবে, তাহাকে উহার দোলনকাল বলে। একটি স্টপ-ঘড়ির সাহায্যে, ঐরূপ 15টি দোলনকালের মোট সময় গণনা করিলে এবং ঐ সময়কে 15 দ্বারা ভাগ করিলে, আমরা দোলকের দোলনকাল পাইব। প্রমাণ করা যায় যে দোলনকাল $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

একটি স্কেলের সাহায্যে O বিন্দু (অর্থাৎ যে বিন্দু হইতে সুতা ঝুলানো হইয়াছে) হইতে বলের কেন্দ্রবিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব মাপিলে l পাওয়া যাইবে। সুতরাং T এবং l জানা হইলে, g-এর মান বাহির করা যাইবে।

3-6. পৃথিবীর ভর ও গড় ঘনত্ব (Mass and mean density of the earth) ঃ

পৃথিবীপৃষ্ঠে কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হইলে, ঐ স্থানে m ভরের একটি বস্তুর ওজন$=mg$; আবার পৃথিবীর ভর ও ব্যাসার্ধ যথাক্রমে M এবং R হইলে, ঐ বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বল$=\frac{G.M.m}{R^2}$; আমরা জানি, বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলই বস্তুর ওজন। অতএব, $mg=\frac{G.M.m.}{R^2}$

$\therefore \quad M=\frac{g.R^2}{G}$; $g=980$ cm/s^2 ; $R=6{\cdot}37\times10^8$ cm. এবং

$G=6{\cdot}67\times10^{-8}$ c.g.s. ধরিলে, $M=\frac{980\times(6{\cdot}37\times10^8)^2}{6{\cdot}67\times10^{-8}}=5{\cdot}96\times10^{27}$ gm.

আবার, পৃথিবীকে সর্বত্র সমঘনত্বের গোলক ধরিয়া লইলে, এবং ঐ ঘনত্ব D হইলে, $M=\frac{4\pi}{3}.\ R^3D$; অতএব, $\frac{4\pi}{3}.\ R^3D=\frac{gR^2}{G} \quad \therefore \quad D=\frac{3g}{4\pi GR}$

R, G এবং g-এর মান বসাইলে $D=5{\cdot}52$ gm/c.c. পাওয়া যায়। কিন্তু পৃথিবীর ঘনত্ব সর্বত্র সমান নয়। উর্ধ্বস্তরে পৃথিবীর উপাদানের ঘনত্ব মাত্র 2·7 gm/c.c. ; অতএব, নিম্নস্তরের ঘনত্ব 5·52 gm/c.c. অপেক্ষা অনেক বেশী।

3-7. বস্তুর ওজন (Weight of a body) ঃ

কোন বস্তুকে হাতের উপর রাখিলে আমরা নিম্নাভিমুখী বল অনুভব করি। বস্তুটি খুব ভারী হইলে এই বল এত বেশী হয় যে আমরা হাতের উপর বস্তুটিকে রাখিতে পারি না। কেন এই বল অনুভব হয়? কারণ, বস্তুটিকে পৃথিবী সর্বদা আকর্ষণ করিতেছে। অর্থাৎ, এই বল অভিকর্ষজ বল (force of gravity)। **কোন বস্তুর উপর পৃথিবী মোট যে অভিকর্ষজ বল প্রয়োগ করে তাহাই হইল ঐ বস্তুর ওজন।** সুতরাং মনে রাখিতে হইবে, ওজন কার্যত একটি বল।

আমরা নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র হইতে জানি, বল = ভর × ত্বরণ

কাজেই, কোন বস্তুর উপর অভিকর্ষজ বল মাপিতে গেলে বস্তুর ভরকে অভিকর্ষজ ত্বরণ দ্বারা গুণ করিতে হইবে এবং এই অভিকর্ষজ বলকেই যখন ওজন বলা হয়, তখন বস্তুর ওজন,

$$W = \text{ভর} \times \text{অভিকর্ষজ ত্বরণ}$$
$$= m \times g$$

(a) ভর ও ওজনের পার্থক্য (Difference between mass and weight) ঃ

সাধারণভাবে আমরা বস্তুর ওজন এবং ভরের ভিতর পার্থক্য করি না। যে-বস্তুর ওজন 30 কিলো বলি তাহার ভর বলিতেও 30 কিলো বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে দুটি সম্পূর্ণ আলাদা জিনিস। ইহাদের পার্থক্য নিম্নে দেওয়া হইল ঃ—

(ক) ভর বলিতে বস্তুর ভিতর কতটা জড় পদার্থ (matter) আছে তাহা বুঝায় কিন্তু ওজন কার্যত একটি বল, অর্থাৎ যে-বলের দ্বারা পৃথিবী বস্তুকে আকর্ষণ করে তাহা।

(খ) বস্তুর ভরকে 'g'-এর মান দিয়া গুণ করিলে ওজন পাওয়া যায়। কাজেই ভর ও ওজন সমান হইতে পারে না।

(গ) বস্তুকে যেখানেই লইয়া যাওয়া হউক, উহার ভর ঠিক একই থাকিবে। কিন্তু পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে 'g'-এর মান বিভিন্ন বলিয়া বস্তুর ওজন বিভিন্ন হইবে। যেমন, পর্বতের চূড়ায় কোন বস্তুর ওজন ভূ-পৃষ্ঠের চাইতে কম। পৃথিবীর কেন্দ্রে 'g'-এর মান শূন্য বলিয়া কোন বস্তুকে পৃথিবীর কেন্দ্রে লইয়া গেলে উহার কোন ওজন থাকিবে না।

(ঘ) ওজনের মান ও অভিমুখ আছে—কাজেই ওজন একটি ভেক্টর রাশি, কিন্তু ভরের শুধু মান আছে ; সুতরাং ভর স্কেলার রাশি।

অতএব মনে রাখিতে হইবে বস্তুর ওজন এবং ভর সম্পূর্ণ আলাদা জিনিস।

(b) **ভারকেন্দ্র** (Centre of gravity) : পূর্বেই বলা হইয়াছে, বল যে-বিন্দুতে ক্রিয়া করে তাহাকে বলের ক্রিয়া বিন্দু (point of application) বলে। যেহেতু বস্তুর ওজন একটি বল, সুতরাং ওজনও একটি বিন্দুতে ক্রিয়া করে। এই নির্দিষ্ট বিন্দুকে বস্তুর ভারকেন্দ্র বলে। বস্তুকে যে অবস্থাতেই ঘুরাইয়া রাখা হউক ইহার ভারকেন্দ্র ঠিক এক জায়গাতেই থাকিবে।

যেমন, একটি গোল বলের ভারকেন্দ্র বলটির কেন্দ্রবিন্দু। বলটিকে যে অবস্থাতেই রাখা হউক না কেন ভারকেন্দ্র সর্বদা কেন্দ্রবিন্দুতেই থাকিবে। তবে বস্তুর আকার ও আয়তন বদলাইলে ভারকেন্দ্র বদলাইবে।

3·8. বলের মহাকর্ষীয় একক (Gravitational unit of force) :

পূর্বে বলের পরম (absolute) এককের কথা বলা হইয়াছে। ইহা ছাড়া বলের আর একটি একক আছে। এই একক মহাকর্ষ সূত্রের উপর প্রতিষ্ঠিত বলিয়া উহাকে মহাকর্ষীয় একক বলে।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এই এককের নাম—**গ্রামভার** (gm-weight)।

এক গ্রাম ভর-সম্পন্ন বস্তু যে-বলের দ্বারা পৃথিবী কর্তৃক আকর্ষিত হয় তাহাই গ্রাম-ভার। কাজেই 1 গ্রাম-ভার $=1$ গ্রাম $\times g$

$=g$ ডাইন

$=980$ **ডাইন** (প্রায়)।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে এই এককের নাম **পাউণ্ড-ভার** (lb-wt.)।

এক পাউণ্ড ভর-সম্পন্ন বস্তু যে-বলের দ্বারা পৃথিবী কর্তৃক আকর্ষিত হয় তাহাই পাউণ্ড-ভার। কাজেই 1 **পাউণ্ড-ভার** $=1\times g$

$=g$ পাউণ্ডাল

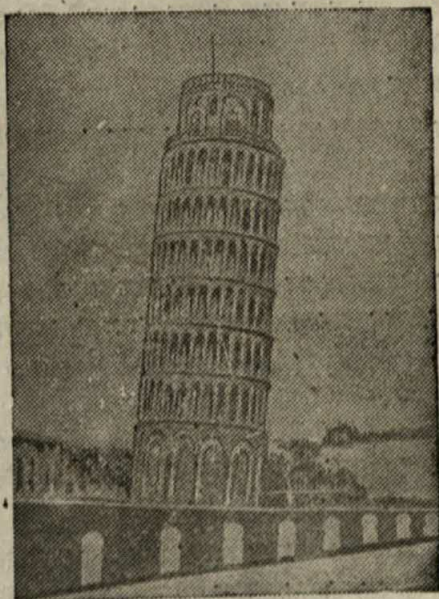
$=32$ পাউণ্ডাল (প্রায়)।

এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে বলের এককের নাম কিলোগ্রাম-ভার (kg-wt.)।

সংজ্ঞা ঃ এক কিলোগ্রাম ভরসম্পন্ন বস্তু যে-বলের দ্বারা পৃথিবী কর্তৃক আকর্ষিত হয় তাহাই কিলোগ্রাম-ভার।

1 কিলোগ্রাম-ভার $=1$ কিলোগ্রাম $\times g=g$ নিউটন $=9\cdot8$ নিউটন।

3·9. অভিকর্ষাধীন গতি (Motion under gravity) ঃ

আমরা দেখিয়াছি যে অভিকর্ষের ফলে কোন বস্তুকে পড়িতে দিলে উহা সোজা নিম্নাভিমুখী পড়ে। এই পতনশীল বস্তুর গতি সম্বন্ধে বহপুর্বে হইতে পণ্ডিতগণ চিন্তা করিয়া আসিতেছেন। প্রাচীন গ্রীক পণ্ডিতগণ মনে করিতেন যে ভারী ও হাল্‌কা বস্তুকে একই উচ্চতা হইতে পড়িতে দিলে ভারী বস্তুটি আগে মাটিতে

পিসার হেলানো মিনার

পৌঁছাইবে। অবশ্য এই ধারণার মূলে ছিল প্রতিদিনের অভিজ্ঞতা। কিন্তু বিশ্ববিশ্রুত মনীষী গ্যালিলিও (1564—1642) সর্বপ্রথম এই ধারণার ত্রুটির প্রতি সকলের দৃষ্টি আকর্ষণ করেন। তিনি 1589 খ্রীষ্টাব্দে পিসা শহরের বিখ্যাত 180 ফুট উঁচু হেলানো মিনার হইতে বিভিন্ন রকমের ভারী দ্রব্য ফেলিয়া দেখান যে উহারা প্রায় একই সময়ে মাটিতে পৌঁছায়। যে-সামান্য সময়ের তফাত দেখা গেল, গ্যালিলিওর মতে তাহা বায়ু কর্তৃক বাধা সৃষ্টি করিবার জন্য হইয়াছিল।

পরে সার আইজাক নিউটন গ্যালিলিওর এই মতের সত্যতা নিঃসন্দেহে প্রমাণিত করেন।

পতনশীল বস্তু সম্পর্কে গ্যালিলিও আরও কয়েকটি সূত্র প্রতিষ্ঠা করেন। এই সকল সূত্রকে একসঙ্গে বলা হয় **পতনশীল বস্তুর সূত্র**। ইহা এখন আলোচনা করা হইবে।

(ক) **পতনশীল বস্তুর সূত্র** (Laws of falling bodies) ঃ এই সূত্রগুলি আলোচনার পূর্বে দুটি কথা স্মরণ রাখিতে হইবে। প্রথমত, বস্তুটিকে ফেলিবার সময় কোন বেগ দিয়া ফেলিতে হইবে না ; স্থিরাবস্থা হইতে ফেলিতে হইবে। দ্বিতীয়ত, পতনশীল অবস্থায় বস্তুটি বায়ু বা অন্য কোন জিনিস কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে না। অর্থাৎ এক-কথায় বলা যাইবে যে বস্তুটি স্থিরাবস্থা হইতে অবাধ অবতরণ (free fall from rest) করিবে। নিম্নলিখিত সূত্রগুলির দ্বারা এই অবতরণ নিয়ন্ত্রিত হয় ঃ—

(1) স্থিরাবস্থা হইতে অবাধ অবতরণের সময় সকল বস্তুই সমান দ্রুততায় নীচে নামে।

(2) স্থিরাবস্থা হইতে অবাধ অবতরণের ফলে, পতনশীল বস্তু কোন নির্দিষ্ট সময়ে যে-বেগ প্রাপ্ত হয় তাহা পতনকালের সমানুপাতিক।

(3) স্থিরাবস্থা হইতে অবাধ অবতরণের ফলে পতনশীল বস্তু কোন নির্দিষ্ট সময়ে যে-দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা পতনকালের বর্গের সমানুপাতিক।

(খ) সূত্রসমূহের ব্যাখ্যা ঃ

প্রথম সূত্র ঃ পূর্বেই বলা হইয়াছে যে প্রথম সূত্র প্রতিষ্ঠা করেন গ্যালিলিও 1539 খ্রীষ্টাব্দে। কিন্তু ইহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ করেন নিউটন তাঁহার বিখ্যাত গিনি ও পালকের পরীক্ষার সাহায্যে। পরীক্ষাটি নিম্নরূপ ঃ

একটি লম্বা ও মোটা কাচ-নলের ভিতর দিয়া গিনি (অর্থাৎ ভারী বস্তু) ও একটি পালক (হাল্‌কা বস্তু) রাখিয়া নলের দুই মুখ বন্ধ করা হইল (23নং চিত্র)। একমুখে একটি ছিপি দ্বারা বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্র লাগাইবার অবস্থা আছে। যখন নলটি বায়ুপূর্ণ তখন নলটিকে হঠাৎ উল্টাইলে দেখা যাইবে গিনিটি অন্য প্রান্তে আগে পৌঁছাইল। এইবার বায়ুনিষ্কাশন যন্ত্র দ্বারা নলের বায়ু বাহির করিয়া লওয়া হইল। সুতরাং এখন বায়ু-প্রদত্ত বাধা রহিল না। এইবার নলকে পুনরায় হঠাৎ উল্টাইলে দেখা যাইবে পালক ও গিনি একসঙ্গে অন্যপ্রান্তে পৌঁছাইল। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় বাধা না পাইলে কি ভারী কি হাল্‌কা—সকল বস্তুই একই দ্রুততায় নীচে পড়ে।

দ্রুততা সমান হওয়া মানে ত্বরণ সমান হওয়া ; সুতরাং এই পরীক্ষা

হইতে একথাও বলা যায় যে অভিকর্ষজ ত্বরণ সকল বস্তুর বেলাতেই সমান।

দ্বিতীয় সূত্র ঃ যদি বস্তু 't' সময় ধরিয়া পড়ে এবং ঐ সময়ের শেষে উহার বেগ 'v' হয়, তবে দ্বিতীয় সূত্রানুসারে $v \propto t$; অর্থাৎ প্রথম সেকেণ্ডের পর বেগ 32 ft/sec. হইলে দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সেকেণ্ডের পর বেগ যথাক্রমে 2×32 ft/sec. এবং 3×32 ft/sec. হইবে এবং এইভাবে বেগ পরিবর্তন করিবে।

তৃতীয় সূত্র ঃ বস্তু যদি 't' সময় ধরিয়া পড়ে এবং ঐ সময়ের শেষে উহা 'h' উচ্চতা অবতরণ করে তবে তৃতীয় সূত্রানুসারে $h \propto t^2$; অর্থাৎ প্রথম সেকেণ্ডের পর বস্তুটি 16 ft. নামিলে, দ্বিতীয় ও তৃতীয় সেকেণ্ডের পর উহা যথাক্রমে $16 \times (2)^2$ ft. এবং $16 \times (3)^2$ ft. নামিবে।

(গ) **অভিকর্ষাধীন গতির সমীকরণ** (Equations of motion under gravity) ঃ বস্তু অভিকর্ষের অধীনে নিম্নাভিমুখী হইলে উহার গতি ত্বরান্বিত হয় এবং এই ত্বরণের পরিমাণ 'g' ; আবার ঊর্ধ্বগামী হইলে গতি মন্দীভূত হয় এবং এই মন্দনের পরিমাণও 'g' ; তবে মন্দন বলিয়া $(-g)$ লিখিতে হইবে। সুতরাং সাধারণ গতির সমীকরণে (2·4 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) 'f'-এর পরিবর্তে 'g' লিখিলে অভিকর্ষাধীন গতির প্রয়োজনীয় সমীকরণ পাওয়া যাইবে। তবে দূরত্ব 's'-এর পরিবর্তে উচ্চতা 'h' ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয়।

অতএব নিম্নগামী বস্তুর বেলাতে—$v = u + gt$

$$h = ut + \tfrac{1}{2}gt^2$$
$$v^2 = u^2 + 2gh$$

এবং ঊর্ধ্বগামী বস্তুর বেলাতে—$v = u - gt$

$$h = ut - \tfrac{1}{2}gt^2$$
$$v^2 = u^2 - 2gh$$

চিত্র নং 23
নিউটনের গিনি ও পালক পরীক্ষা

(ঘ) **বস্তু কর্তৃক সর্বাধিক উচ্চতা আরোহণ ঃ** ধর, কোন বস্তুকে u গতিবেগ দিয়া খাড়া ঊর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হইল। সর্বাধিক উচ্চতায় পৌঁছিলে, বস্তু মুহূর্তের জন্য গতিহীন হইবে। সর্বাধিক উচ্চতা যদি H হয়, তবে $v^2 = u^2 - 2gh$ সমীকরণ হইতে পাই, $0 = u^2 - 2g.H$

$$\therefore \quad H = \frac{u^2}{2g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

(ঙ) সর্বাধিক উচ্চতা আরোহণের সময়কাল ঃ যদি বস্তুটি T সময়ে সর্বাধিক উচ্চতা আরোহণ করে, তবে $v=u-gt$ সমীকরণ হইতে পাই,

$$0=u-gT \quad \text{অথবা,} \quad T=\frac{u}{g} \quad .. \quad .. \quad \text{(ii)}$$

(চ) সর্বাধিক উচ্চতা হইতে অবতরণের সময়কাল ঃ যদি সর্বাধিক উচ্চতা হইতে নিক্ষেপ বিন্দুতে (point of projection) অবতরণ করিতে সময় লাগে T_1 তবে, $S=ut+\frac{1}{2}gt^2$ সমীকরণ হইতে পাই, $H=0+\frac{1}{2}gT_1{}^2=\frac{1}{2}gT_1{}^2$

$$\text{অথবা,} \quad T_1{}^2=\frac{2H}{g}=\frac{2}{g}\times\frac{u^2}{2g} \quad \therefore \quad T_1=\frac{u}{g} \quad .. \quad .. \quad \text{(iii)}$$

(ii) এবং (iii) নং সমীকরণ হইতে দেখা যায় $T=T_1$ অর্থাৎ সর্বাধিক উচ্চতা আরোহণের সময়কাল এবং সর্বাধিক উচ্চতা হইতে নিক্ষেপ বিন্দুতে অবতরণের সময়কাল সমান।

অতএব, আরোহণ ও অবতরণের জন্য মোট সময়$=\dfrac{2u}{g}$

উদাহরণ ঃ (1) একটি পাথরখণ্ডকে 100 ft/sec. বেগে ঊর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হইল। পাথরখণ্ডটি সর্বাধিক কত উচ্চতা আরোহণ করিবে? উহাতে সময় লাগিবে কত? ভূমিতে পৌঁছাইতে কত সময় লইবে?

উ। পাথরখণ্ডটি যত উঁচুতে উঠিবে তত উহার বেগ কমিয়া আসিবে এবং সর্বাধিক উচ্চতায় উহার বেগ সম্পূর্ণ শূন্য হইবে। ধর, ইহাতে সময় লাগিল t sec.

এক্ষেত্রে, $u=100$ ft/sec. ; $g=32$ ft/sec^2 ; $v=0$

আমরা জানি, $v=u-gt$ [ঊর্ধ্বগামী বস্তুর বেলাতে]

কাজেই $0=100-32t$

$$\therefore \quad t=\frac{100}{32}=\frac{25}{8}=3{\cdot}12 \text{ sec. (প্রায়)}$$

যেহেতু আরোহণ ও অবতরণের সময়কাল সমান, অতএব নিক্ষেপ মুহূর্ত হইতে ভূমিতে পৌঁছাইতে মোট সময়$=2\times3{\cdot}12=6{\cdot}24$ sec.

$$\text{আবার,} \quad H=\frac{u^2}{2g}$$

$$=\frac{100\times100}{2\times32}$$

$$=156{\cdot}25 \text{ ft.}$$

(2) 300 ft. উঁচু একটি মিনার হইতে একটি বস্তু ফেলা হইল এবং ঠিক ঐ সময়ে মিনারের তলা হইতে আর একটি বস্তুকে 100 ft/sec. বেগে

উর্ধ্বে ছোঁড়া হইল। দুইটি বস্তুর কোথায় এবং কখন সাক্ষাৎ হইবে নির্ণয় কর।

উ। ধরা যাউক, 't' sec. পরে উহাদের সাক্ষাৎ হইল। এখন প্রথম বস্তুর বেলাতে $u=0$; $g=32$ ft/sec^2 ; $t=t$; $h=?$

আমরা জানি, $h=ut+\frac{1}{2}gt^2$ [নিম্নগামী বস্তুর বেলাতে]

$$=0+\tfrac{1}{2}.32t^2=16t^2$$

সুতরাং দ্বিতীয় বস্তুটি $(300-h)$ ft. আরোহণ করিল। দ্বিতীয় বস্তুর বেলাতে $u=100$ ft/sec ; $t=t$, $h=300-h$; $g=32$ ft/sec^2

যেহেতু, বস্তুটি উর্ধ্বগামী, কাজেই,

$$30-h=100t-\tfrac{1}{2}.32.t^2$$
$$=100t-16t^2$$

কিন্তু $h=16t^2$; অতএব, $300-16t^2=100t-16t^2$

$\therefore\ t=3$ sec.

অর্থাৎ মিনারের শীর্ষ হইতে $16\times(3)^2=144$ ft. নীচে দুইটি বস্তুর সাক্ষাৎ হইবে।

(3) একটি মিনারের শীর্ষদেশ হইতে একখণ্ড পাথর ফেলা হইল। পাথর খণ্ডটি 3 sec. পরে ভূমি স্পর্শ করিল। মিনারের উচ্চতা কত?

উ। এক্ষেত্রে, $u=0$, $t=3$ sec ; $g=32$ ft/sec^2 ; $h=?$

আমরা জানি, $h=ut+\frac{1}{2}gt^2$ [বস্তু নিম্নগামী]

$$=0+\tfrac{1}{2}.32(3)^2$$
$$=144 \text{ ft.}$$

(4) কোন এক স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 980 cm/s^2। একটি বস্তুকে 2 সেকেণ্ডের মধ্যে উল্লম্বভাবে 98 মিটার উচ্চতায় পাঠাইতে বস্তুটিতে কত প্রাথমিক বেগ প্রদান করিতে হইবে? যদি এই বেগকে দ্বিগুণ করা হয় তাহা হইলে বস্তুটি কতদূর পর্যন্ত উঠিবে? [*M. Exam., 1988*]

উ। আমরা জানি, উর্ধ্বমুখী উল্লম্ব গতির বেলায় $S=ut-\frac{1}{2}gt^2$; এখানে $S=98$ মিটার$=9800$ cm ; $g=980$ cm/s^2 এবং $t=2$ sec ; এই মানগুলি বসাইলে পাই,

$$9800=u\times2-\tfrac{1}{2}\times(980)\times(2)^2=u\times2-1960$$

$\therefore\ 2.u=11760$ অথবা $u=5880$ cm/s$=58{\cdot}8$ metre/s.

(ii) এখানে, $u=2\times58{\cdot}8$ metre/s ; $g=9{\cdot}8$ metre/s^2 ; সর্বাধিক উচ্চতার ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$H=\frac{u^2}{2g}=\frac{(2\times58{\cdot}8)^2}{2\times9{\cdot}8}=705{\cdot}6 \text{ metre}$$

(5) ঠিক 144 ফুট উর্ধ্বে আরোহণ করিতে হইলে একটি বস্তুকে কত বেগে উর্ধ্বে উৎক্ষেপ করিতে হইবে? কখন বস্তুটি ভূমি হইতে 80 ফুট উর্ধ্বে উঠিবে? দুইটি উত্তরের কারণ ব্যাখ্যা কর।

উ। ঠিক 144 ফুট উর্ধ্বে উঠিলে বস্তুটি মুহূর্তের জন্য গতিহীন হইবে। এখন $v=0$; $h=144$ ফুট, $g=-32$ ফুট/সে.^{2} [উর্ধ্বমুখী গতি] ; $u=?$

আমরা জানি, $v^2=u^2+2gh$; এক্ষেত্রে $0=u^2-2\times32\times144$ অথবা

$u^2=2\times32\times144$ $\therefore$ $u=96$ ফুট/সেকেণ্ড

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $u=96$ ফুট/সেকেণ্ড ; $h=80$ ফুট ; $g=-32$ ফুট/সে.^{2} ; $t=?$

আমরা জানি, $h=ut+\frac{1}{2}gt^2$

এখানে, $80=96\times t-\frac{1}{2}\times32\times t^2$

অথবা, $5=6\times t-t^2$

" $t^2-6t+5=0$

$\therefore$ $t=5$ সেকেণ্ড এবং 1 সেকেণ্ড

উত্তরস্বরূপ সময় দুইবার পাওয়া যায়, কারণ বস্তুটি উর্ধ্বে উঠিবার সময় একবার ভূমি হইতে 80 ফুট উর্ধ্বে উঠিবে, আবার সর্বাধিক উচ্চতায় উঠিয়া নীচে পড়িবার সময় আর একবার ভূমি হইতে 80 ফুট উচ্চে আসিবে। প্রথমবারের জন্য সময় লাগে 1 সেকেণ্ড এবং দ্বিতীয়বারের জন্য লাগে 5 সেকেণ্ড।

প্রশ্নাবলী

1. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র কি? অভিকর্ষ ও অভিকর্ষজ ত্বরণ বলিতে কি বোঝ? অভিকর্ষজ ত্বরণ দূরত্বের উপর কিরূপভাবে নির্ভর করে? [*M. Exam., 1980 '82, '86*]

2. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র বিবৃত কর। সার্বিক মহাকর্ষ ধ্রুবকের মান লিখ। মহাকর্ষ ও অভিকর্ষের ভিতর পার্থক্য কি? [*M. Exam., 1984*]

3. 'অভিকর্ষজ ত্বরণ' বলিতে কি বোঝ? সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহা কি একক দ্বারা প্রকাশ করা যায়? [*H. S. Exam., 1960*]

4. সার্বিক মহাকর্ষ ধ্রুবকের মান লিখ। মহাকর্ষ ও অভিকর্ষের মধ্যে পার্থক্য কি? [*H. S. Exam., 1984*]

5. অভিকর্ষজ ত্বরণ কাহাকে বলে? ইহা নির্ণয় করিবার একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা কর। [*M. Exam., 1984*]

6. এক পাউণ্ড সীসার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বেশী, না পৃথিবীর উপর এক পাউণ্ড সীসার আকর্ষণ বেশী?

7. বস্তুর ওজন ও ভরের পার্থক্য বুঝাইয়া দাও। [*M. Exam., 1980*]

8. একটি বস্তুকে ভূ-পৃষ্ঠে, সমুদ্রস্তরে এবং পর্বতশৃঙ্গে ওজন করা হইল। ওজনের পরিবর্তন হইবে কি? উত্তর ভাল করিয়া বুঝাইয়া লেখ।

9. একটি বস্তুর ওজন কোথায় বেশী হইবে—মেরুপ্রান্তে না নিরক্ষরেখায়?

10. কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান উচ্চতার জন্য কিভাবে পরিবর্তিত হয়?

11. পৃথিবী হইতে চন্দ্র বরাবর পথে কোন বস্তুর ওজনের কি পরিবর্তন দেখা যায়? বস্তুর ভরের কিরূপ পরিবর্তন হয়?

12. পতনশীল বস্তুর সূত্রাবলীর বিবরণ দাও। প্রথম সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ করিবে কিরূপে? [*M. Exam.*, *1984*]

13. কোনও স্থানে সকল বস্তুর বেলাতে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান সমান ইহা পরীক্ষার সাহায্যে কিভাবে দেখাইতে পার?

14. খাড়া ঊর্ধ্বে বিক্ষিপ্ত বস্তুর বেলায় প্রমাণ কর: (i) নির্দিষ্ট উচ্চতায় উঠিবার গতিবেগ ও পড়িবার গতিবেগ সমান (ii) সর্বোচ্চ বিন্দুতে আরোহণের সময় এবং সেখান হইতে নিক্ষেপ বিন্দুতে পড়িবার সময় সমান।

● **Objective type :**

15. নিম্নলিখিত (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত উক্তিগুলি ভুল কি নির্ভুল বল?

(a) কোনও স্থানে বেশী ভরের বস্তুর বেলাতে অভিকর্ষজ ত্বরণ কম ভরের বস্তুর বেলায় অভিকর্ষজ ত্বরণ অপেক্ষা বেশী।

(b) মেরুতে 'g'-এর মান নিরক্ষীয় বিন্দুতে 'g'-এর মান অপেক্ষা বেশী।

(c) একটি বস্তুকে খাড়া ঊর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হইল। কিছুক্ষণ পরে ইহা মাটিতে ফিরিয়া আসিল। এই দুই ভ্রমণকাল সমান।

(d) দুইটি বস্তু কণার ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল এক জোড়া ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া বল।

(e) পৃথিবীর কেন্দ্রে গেলে, সকল বস্তু ওজনশূন্য হয়।

16. নিচের তালিকার প্রথম স্তম্ভে বলের বিভিন্ন মহাকর্ষীয় একক এবং দ্বিতীয় স্তম্ভে উহাদের পরিমাপের পদ্ধতির উল্লেখ করা আছে। উপযুক্ত জোড় (match) নির্দেশ কর:

প্রথম স্তম্ভ	দ্বিতীয় স্তম্ভ
গ্র্যাম-ভার	এম্. কে. এস্.
পাউণ্ড-ভার	সি. জি. এস্.
কিলোগ্রাম-ভার	এফ. পি. এস্.

অঙ্ক:

17. 100 ft/sec. বেগে একটি বস্তুকে ঊর্ধ্বে উৎক্ষেপ করা হইল। 80 ft. উচ্চে আরোহণ করিতে উহার কত সময় লাগিবে? $g=32$ ft/sec^2.

Ans. 0·94 sec. ; 5·3 sec]

18. 400 ft উঁচু একটি স্তম্ভ হইতে একটি পাথরখণ্ডকে অনুভূমিকভাবে 400 ft/sec. বেগ দিয়া ছোঁড়া হইল। কতক্ষণ পরে এবং কোথায় পাথরখণ্ডটি ভূমিস্পর্শ করিবে?

[Ans. 5 sec. 2000 ft.]

19. 32 ft/sec. বেগে একটি উর্ধ্বগামী বেলুন হইতে একখণ্ড পাথর ফেলা হইল। ঐ মহূর্তে যদি বেলুনের উচ্চতা 3200 ft. হয় তবে পাথরখণ্ডটি সর্বাধিক কত উচ্চতা আরোহণ করিবে?

[Ans. 3216 ft.]

20. 40 ft/s প্রাথমিক বেগ দিয়া একটি পাথরখণ্ডকে উর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হইল। পাথর-খণ্ডটি (i) সর্বাধিক কত উচ্চতায় উঠিবে এবং (ii) ভূমিতে পৌঁছাইতে কত সময় লইবে নির্ণয় কর। $g=32$ ft/s^2. [Ans. 25 ft. ; 2·5 sec] [*M. Exam., 1980*]

21. 200 ft উচ্চতা হইতে কোন বস্তু পড়িতেছে। ভূমি হইতে 100 ft উচ্চতায় উহার বেগ কত হইবে? [Ans. 80 ft/s] [*M. Exam., 1981*]

[*Hints.* $v^2=u^2+2gh$ সমীকরণ প্রয়োগ কর]

22. কি গতিবেগে উপরদিকে উৎক্ষেপ করিলে, একটি বল ভূপৃষ্ঠ হইতে 100 ft উচ্চতা পর্যন্ত উঠিবে? $g=32$ ft/s^2. [Ans. 80 ft/s] [*M. Exam., 1983*]

23. একটি বস্তুকে 64 ft/s গতিবেগে উপরদিকে উৎক্ষেপ করিলে কত উচ্চতা আরোহণ করিবে এবং কতক্ষণ পরে আবার ভূপৃষ্ঠে আসিবে তাহা নির্ণয় কর। $g=32$ ft/s^2.

[Ans. 64 ft ; 4 sec] [*M. Exam., 1984*]

24. 144 ft উঁচু একটি স্থান হইতে একটি বস্তুকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। ভূপৃষ্ঠে পৌঁছাইতে উহার কত সময় লাগিবে? তখন উহার গতিবেগ কি হইবে? ($g=32$ ft/s^2)

[Ans. 3 sec ; 96 ft/s] [*M. Exam., 1985*]

25. 100 মিটার উচ্চতা হইতে একটি বস্তুকে 100 metre/s বেগ দিয়া নিচে ফেলা হইল। ভূপৃষ্ঠে পড়িতে উহার কত সময় লাগিবে এবং উহার চূড়ান্ত গতিবেগ কত হইবে নির্ণয় কর।

[Ans. 0·03 sec (প্রায়) 100·3 metre/s] [*M. Exam., 1986*]

26. দুইটি স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ g এবং g_1; এই দুই স্থানে একই উচ্চতা হইতে বস্তু ফেলিয়া দিলে, প্রথম স্থান অপেক্ষা দ্বিতীয় স্থানে পড়িতে t সময় কম লাগে এবং মাটিতে পড়িবার বেগ v পরিমাণ বেশী হয়। প্রমাণ কর $gg_1=\frac{v^2}{t^2}$.

কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি
(Work, Power and Energy)

4-1. কার্য ঃ

দৈনন্দিন জীবনে কার্যের উদাহরণ আমরা প্রায়ই দেখিতে পাই। যখন কুলীরা মোট বহন করে, ঘোড়া বা গরু গাড়ী টানে, মালী কুয়া হইতে জল তোলে তখন তাহারা প্রত্যেকেই কিছু কার্য করে। সাধারণভাবে কার্য বলিতে আমরা এমন কিছু বুঝি যাহার ফলে দৈহিক ক্লান্তি বা অবসাদ ঘটে। কিন্তু বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে 'কার্য' কথাটির একটু অন্য অর্থ আছে। নিম্নের উদাহরণে তাহা স্পষ্ট হইবে।

মনে কর, রাজমিস্ত্রীরা বাড়ি তৈয়ারী করিবার জন্য ইট বহন করিয়া উচ্চে তুলিতেছে। এস্থলে দুইটি মিস্ত্রীর কার্যের পরিমাণ যদি তুলনা করিতে হয় তবে স্বভাবতই মনে হয় যে-মিস্ত্রী বেশী সংখ্যক ইট তুলিল সে বুঝি বেশী কার্য করিল। কিন্তু বাস্তবিক তাহা নয়। যদি কোন মিস্ত্রী 100 খানা ইট 40 ফুট উচ্চে তোলে এবং অন্য মিস্ত্রী 100 খানা ইট 20 ফুট তোলে তবে প্রথম জন দ্বিতীয় জন অপেক্ষা দ্বিগুণ কার্য করিল।

সুতরাং উপরিউক্ত কার্যের পরিমাপ করিতে গেলে দুইটি কথা স্মরণ রাখিতে হইবে। যে-দ্রব্য তোলা হইতেছে তাহার ওজনকে কাটাইবার জন্য প্রদত্ত বল এবং যতদূর তোলা হইতেছে সেই দূরত্ব।

প্রকৃতপক্ষে যে-কোন কার্যের পরিমাপ করিতে গেলে যতটা বল প্রযুক্ত হইতেছে এবং বলের প্রয়োগবিন্দু (point of application) যতটা সরিয়া যাইতেছে তাহার গুণফল নির্ণয় করিতে হইবে। অর্থাৎ,

কৃত কার্য = প্রযুক্ত বল × বলের প্রয়োগবিন্দুর স্থানচ্যুতি

যদি F বলপ্রয়োগ করা হয় এবং বলের প্রয়োগবিন্দুর 'S' দূরত্ব সরিয়া যায় তবে কৃত কার্য $W = F \times S$.

সুতরাং ইহা হইতে বোঝা যাইতেছে যে, প্রযুক্ত বল যতই হউক না কেন বলের প্রয়োগবিন্দুর কোন স্থানচ্যুতি না হইলে পদার্থ বিজ্ঞান অনুযায়ী কোন কার্যই করা হইবে না। যেমন, বিরাট এক পাথরখণ্ডকে যতই তুমি ধাক্কা দিয়া সরাইবার চেষ্টা করিয়া গলদ্‌ঘর্ম হও না কেন, পাথরখণ্ড না সরিলে তোমার কোন কার্য করা হইবে না।

(a) **বল কর্তৃক কৃত কার্য ও বলের বিরুদ্ধে কৃত কার্য ঃ**

(i) **যদি বলের প্রয়োগবিন্দু বলের অভিমুখে সরিয়া যায় তবে বলা হয় যে বল কার্য করিয়াছে।** যেমন, কিছু উপর হইতে যদি কোন বস্তুকে ফেলা

যায় তবে বস্তুটি অভিকর্ষজ বল কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া পৃথিবীর দিকে পড়ে। এখানে বল যে-দিকে কার্য করিতেছে বস্তুটিও সেইদিকে সরিতেছে। সুতরাং বলা যাইতে পারে, অভিকর্ষজ বল কার্য করিয়াছে।

(ii) **কিন্তু যদি বলের প্রয়োগবিন্দু বলের অভিমুখের বিপরীত দিকে সরিয়া যায় তবে বলা হয় যে বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইয়াছে।** যেমন, কোন ভারী বস্তুকে কিছু উপরে তুলিতে হইলে যে-কার্য করা হইবে তাহা অভিকর্ষজ বলের বিরুদ্ধে করা হইবে।

(b) **কার্যহীন বল** (No-work force) ঃ বল উহার ক্রিয়ামুখের অভিলম্বদিকে কোন কার্য করে না। যেমন, কোন বস্তুকে যদি অনুভূমিক তলে টানিয়া লওয়া হয় তাহা হইলে অভিকর্ষের (অর্থাৎ বস্তুর ওজনের) বিরুদ্ধে কোন কার্য করা হয় না, কারণ অভিকর্ষ বলের অভিমুখ এবং বস্তুর সরণের অভিমুখ পরস্পরের লম্ব। অনুরূপভাবে যখন কোন বস্তুকে বৃত্তাকার পথে ঘুরানো হয়, তখন অভিকেন্দ্র বল সর্বদা বৃত্তের ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করে। বৃত্তের যে-কোন বিন্দুতে ঐ বলের অভিমুখ এবং ঐ বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শকের (tangent) অভিমুখ পরস্পরের অভিলম্ব। এখন, যে কোন বিন্দুতে বস্তুর গতির অভিমুখ স্পর্শক বরাবর। সুতরাং বস্তুর বৃত্তগতির সময় অভিকেন্দ্র বল কোন কার্য করে না ; কারণ বলের অভিমুখ ও গতির অভিমুখ পরস্পরের লম্ব। এইরূপ যে-সকল বল কোন কার্য করে না, তাহাদের বলা হয় 'কার্যহীন বল'।

একথা স্মরণ রাখা দরকার যে, যখন কোন বল কার্য করে তখন ঐ বল অন্য কোন বলের বিরুদ্ধে কার্য করে। কোন বস্তুকে উর্ধ্বে তুলিলে, অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হয়। বস্তুকে নিচে পড়িতে দিলে, অভিকর্ষ বল বস্তুর জাড্যজনিত বলের বিরুদ্ধে কার্য করে ; অমসৃণ তল বরাবর কোন বস্তুকে টানিয়া লইলে ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হয়, ইত্যাদি।

4-2. কার্যের বিভিন্ন একক ঃ

(i) **পরম একক** (Absolute unit) ঃ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের পরম একক আর্গ (erg)। 1 dyne বল প্রয়োগ করিলে যদি বলের প্রয়োগবিন্দু বলের অভিমুখে 1 cm. সরিয়া যায় তবে যে-কার্য করা হয় তাহাকে আর্গ বলে।
1 ডাইন×1 সে. মি. =1 আর্গ

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের পরম একক **ফুট-পাউণ্ডাল** (foot-poundal)। 1 poundal বল প্রয়োগ করিলে যদি বলের প্রয়োগবিন্দু বলের অভিমুখে 1 ft. সরিয়া যায় তবে যে কার্য করা হয় তাহাকে ফুট-পাউণ্ডাল বলে।
1 পাউণ্ডাল×1 ফুট=1 ফুট-পাউণ্ডাল।

এম. কে এস্. পদ্ধতিতে কার্যের পরম একক **নিউটন-মিটার বা জুল।**

1 নিউটন বল প্রয়োগ করিলে যদি বলের প্রয়োগবিন্দু বলের অভিমুখে 1 মিটার সরিয়া যায় তবে যে কার্য করা হয় তাহাকে 1 নিউটন-মিটার বা 1 জুল বলা হয়। 1 নিউটন $\times$ 1 মিটার $=$ 1 নিউটন-মিটার (জুল)।

(ii) **অভিকর্ষীয় একক** (Gravitational unit) ঃ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের অভিকর্ষীয় একক **গ্রাম-সেন্টিমিটার** (Gram-centimetre)। 1 gm. ভর-সম্পন্ন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে 1 cm. উচ্চে তুলিতে যে-কার্য করা হয় তাহাই গ্রাম-সেন্টিমিটার।

$$1 \text{ gm-centimetre} = g \text{ ergs} = 980 \text{ ergs.}$$

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের অভিকর্ষীয় এককের নাম **ফুট-পাউণ্ড** (foot-pound)। 1 lb ভর-সম্পন্ন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে 1 foot উচ্চে তুলিতে যে-কার্য করা হয় তাহাকে ফুট-পাউণ্ড বলে।

$$1 \text{ ft-lb} = g \text{ ft-poundals} = 32 \text{ ft-poundals.}$$

এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের অভিকর্ষীয় একক **কিলোগ্রাম-মিটার** (kilogram-metre)। 1 kg. ভরসম্পন্ন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে 1 metre উচ্চে তুলিতে যে-কার্য করা হয়, তাহাকে 1 কিলোগ্রাম-মিটার বলে।

1 kg-metre $= 9{\cdot}8$ নিউটন-মিটার $= 9{\cdot}8$ জুল।

(iii) **ব্যবহারিক একক** (Practical unit) ঃ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের পরম একক 'আর্গ' প্রায় সর্বত্রই ব্যবহৃত হয়। কিন্তু কোন কোন সময় 'আর্গ' খুব ছোট একক হওয়ায় ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আরও একটি বড় এককের প্রচলন আছে। এই একককে কার্যের ব্যবহারিক একক বলে। ইহার নাম জুল (Joule)।

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ ergs.}$$

4-3. ফুট-পাউণ্ডাল ও আর্গের পারস্পরিক সম্পর্ক ঃ

আমরা দেখিয়াছি, 1 foot-poundal $=$ 1 poundal $\times$ 1 foot

$$= 13825 \text{ dynes} \times 30{\cdot}48 \text{ cm.}$$
$$= 13825 \times 30{\cdot}48 \text{ ergs}$$
$$= 4{\cdot}21 \times 10^5 \text{ ergs.}$$

তাছাড়া, 1 ft-lb $=$ 32 ft-poundals

$= 32 \times 4{\cdot}21 \times 10^5$ ergs $= 1{\cdot}35 \times 10^7$ ergs (প্রায়)

$= 1{\cdot}35$ joules (প্রায়)।

উদাহরণ ঃ (1) 300 ft. গভীর কয়লার খনি হইতে 1 হন্দর কয়লা তুলিতে কত কার্য করা হয়? মহাকর্ষীয় ও পরম এককে উত্তর নির্ণয় কর।

উঃ। (*a*) মহাকর্ষীয় একক ঃ

প্রযুক্ত বল=112 lb-wt. [1 হন্দর =112 lb.]

সুতরাং কৃত কার্য=112×300 ft-lb.

=33,600 ft-lb.

(b) পরম একক ঃ

প্রযুক্ত বল=112×32 poundals

∴ কৃত কার্য=112×32×300 ft-poundals

=1,075,200 ft-poundals.

(2) যদি 200 dynes বল প্রয়োগ করিয়া কোন বস্তুকে বলের অভিমুখে 300 cm. সরানো যায় তবে কত কার্য করা হইবে? যদি প্রযুক্ত বল 10 gm-wt. হয় তবে কত কার্য করা হইবে?

উঃ। (i) এস্থলে, F=200 dynes ; S=300 cm.

আমরা জানি $W=F.S.$

=200×300 ergs.

=60,000 ergs.

(ii) এস্থলে, F=10 gm-wt ; S=300 cm.

আমরা জানি, $W=F.S.$

=10×300 gm-cm.=3000 gm-cm.

=3000×980 ergs=2940000 ergs.

4-4. ক্ষমতা (Power) ঃ

কাজ করিবার হারকে ক্ষমতা বলে। ধর, দুইজন মালী কুয়া হইতে বালতি করিয়া জল তুলিতেছে। যে-মালী বেশী ক্ষমতাশালী সে কোন নির্দিষ্ট সময়ে বেশী বালতি জল তুলিবে অর্থাৎ বেশী ক্ষমতাশালী লোক নির্দিষ্ট সময়ে বেশী পরিমাণ কাজ করিবে। সুতরাং ক্ষমতা পরিমাপ করা হয় কতটা কাজ করা হইল এবং তাহার জন্য কতটা সময় লাগিল---এ দুইয়ের অনুপাত দ্বারা।

$$\text{ক্ষমতা (P)} = \frac{\text{কৃতকার্য (W)}}{\text{সময় } (t)}$$

4-5. ক্ষমতার বিভিন্ন একক ঃ

(i) **পরম একক** (Absolute units) ঃ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষমতার পরম একক প্রতি সেকেণ্ডে এক আর্গ---অর্থাৎ এক সেকেণ্ড সময়ে যে এক আর্গ কার্য করিতে পারে তাহার ক্ষমতাকে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে একক ধরা হয়।

এফ্. পি. এস্ পদ্ধতিতে ক্ষমতার পরম একক প্রতি সেকেণ্ডে এক **ফুট পাউণ্ডাল**—অর্থাৎ এক সেকেণ্ডে এক ফুট-পাউণ্ডাল কার্য করিতে পারিলে সেই ক্ষমতাকে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে একক ধরা হয়।

এম্. কে. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী ক্ষমতার পরম একক **ওয়াট**। এক সেকেণ্ডে 1 নিউটন-মিটার (বা 1 জুল) কার্য করিতে পারিলে, সেই ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলা হয়।

(ii) **ব্যবহারিক একক** (Practical units) ঃ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এই এককের নাম **'ওয়াট'** (Watt)।

এক সেকেণ্ডে এক জুল কার্য করিতে পারিলে সেই ক্ষমতাকে ওয়াট বলা হয়।

$$\therefore \; 1 \text{ watt} = 1 \text{ Joule/sec.}$$
$$= 10^7 \text{ ergs/sec.}$$

কোন কোন ক্ষেত্রে আর একটি বড় একক ব্যবহার করা হয়। তাহার নাম **কিলোওয়াট** (K.W.)

$$1.\ \text{K. W.} = 1000 \text{ watts.}$$

সাধারণত বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ক্ষমতা 'watt' একক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষমতার ব্যবহারিক এককের নাম **হর্স পাওয়ার** (Horse-power) বা **অশ্ব-ক্ষমতা**। ইহা প্রতি সেকেণ্ডে 550 ft. lb. কার্য বুঝায়। অর্থাৎ 1 H. P. = 550 ft. lb/sec.

4-6. হর্স পাওয়ার ও ওয়াটের পারস্পরিক সম্পর্ক ঃ

$$1 \text{ H. P.} = 550 \text{ ft. lb/sec.}$$
$$= 550 \times 32 \text{ ft-poundals/sec.} \quad [g = 32 \text{ ft/sec}^2]$$
$$= 550 \times 32 \times 4{\cdot}21 \times 10^5 \text{ ergs/sec.}$$
$$= \frac{550 \times 32 \times 4{\cdot}21 \times 10^5}{10^7} \text{ joules/sec.}$$
$$= 746 \text{ Joules/sec (প্রায়)}$$
$$= 746 \text{ watts (প্রায়)} = 3/4 \text{ K.W. (প্রায়)}$$

বিকল্পে, $1 \text{ watt} = \frac{1}{746}$ H. P. এবং $1 \text{ K. W.} = \frac{4}{3}$ H. P. = 1.34 H. P.

উদাহরণ ঃ (1) 0·25 অশ্বশক্তির একটি মোটর 3 ঘন্টা চালু রাখা হইল। কত সি. জি. এস্. কাজ করা হইল? [*M. Exam., 1987*]

উঃ। 1 H. P. = 746 watt

$\therefore$ 0·25 H. P. = 746 × 0·25 watt.

কাজেই 3 ঘন্টায় কৃত কার্য $=746\times0{\cdot}25\times3$ ওয়াট-ঘন্টা

$$=\frac{746\times0{\cdot}25\times3}{1000}$$ কিলোওয়াট-ঘন্টা

$=0{\cdot}56$ কিলোওয়াট-ঘন্টা

(2) একটি ইঞ্জিন 10 টন মাল আধ মিনিটে 30 ft. উঁচুতে তুলিতে পারে। ইঞ্জিনটির ক্ষমতা কত? তোমার উত্তর হর্স পাওয়ার ও কিলোওয়াটে নির্ণয় কর।

উঃ। 1 টন $=2240$ lb.

এস্থলে প্রযুক্ত বল $=10\times2240$ lb wt.

কৃত কার্য $=10\times2240\times30$ ft. lb.

সময় $=\frac{1}{2}$ minute $=30$ sec.

$$\text{সুতরাং ক্ষমতা}=\frac{10\times2240\times30}{30}\text{ ft. lb/sec.}$$

$$=\frac{10\times2240}{550}\text{ H.P.}$$

$=40{\cdot}7$ H.P.

আবার $40{\cdot}7$ H.P. $=40{\cdot}7\times746$ watts.

$$=\frac{40{\cdot}7\times746}{1000}=30{\cdot}4\text{ K.W.}$$

(3) কোন পাম্প এক ঘন্টায় 1000 গ্যালন জল 90 ft. উঁচুতে তুলিতে পারে। পাম্পটির হর্স পাওয়ার নির্ণয় কর। [1 গ্যালন জলের ওজন $=10$ lb.]

উঃ। এস্থলে প্রযুক্ত বল $=1000\times10$ lb wt.

কৃত কার্য $=1000\times10\times90$ ft. lb.

সময় $=1$ hour $=60\times60$ sec.

$$\text{সুতরাং ক্ষমতা}=\frac{1000\times10\times90}{60\times60}\text{ ft. lb/sec.}$$

$=250$ ft. lb./sec.

$$=\frac{250}{550}=0{\cdot}455\text{ H.P.}$$

(4) 9 stone ওজনের একটি বালক 3 মিনিটে 80 ft. উঁচু একটি বাড়ির তলা হইতে ছাদে যাইতে পারে। বালকটির ক্ষমতা কত? [1 stone $=14$ lb.]

উঃ। বালকটির ওজন $=9\times14$ lb.

কৃত কার্য $=9\times14\times80$ ft. lb.

সময় $=3$ minutes $=3\times60$ sec.

$$\text{সুতরাং ক্ষমতা}=\frac{9\times14\times80}{3\times60}\text{ ft. lb/sec.}$$

$$=56\text{ ft. lb/sec.}$$

$$=\frac{56}{550}=0{\cdot}1\text{ H.P. (প্রায়)}$$

(5) 5 এইচ. পি. মোটর দ্বারা কুয়া হইতে জল 30 ফুট উঁচুতে তোলা হইতেছে। পাম্পের কর্মদক্ষতা 85% হইলে, প্রতি মিনিটে কত গ্যালন জল তোলা হইবে? 1 গ্যালন জলের ওজন 10 পাউণ্ড।

উঃ। যদি পূর্ণ ক্ষমতার 85% কার্যকর হয়, তবে কার্যকর ক্ষমতা

$$=\frac{85}{100}\times5=\frac{17}{4}\text{ এইচ. পি.};$$

ধর, m গ্যালন জল তোলা হইল। সুতরাং কৃত কার্য$=m\times10\times30$ ফুট-পাউণ্ড। এই কার্য 1 মিনিটে করা হইলে কৃত কার্যের হার

$$=\frac{m\times10\times30}{60}\text{ ফুট-পাউণ্ড/সে.}=\frac{m\times10\times30}{60\times550}\text{ এইচ. পি.}$$

$$\therefore\quad \frac{17}{4}=\frac{m\times10\times30}{60\times550}\quad\text{অথবা,}\quad m=\frac{60\times500\times17}{4\times10\times3}$$

$$=457{\cdot}5\text{ গ্যালন।}$$

4-7. শক্তি (Energy) :

সাধারণভাবে যে-মানুষ যত বেশী কার্য করিতে পারে আমরা তাহাকে তত শক্তিমান বলিয়া থাকি। প্রকৃতপক্ষে পদার্থ বিজ্ঞান অনুযায়ী **কোন বস্তুর কার্য করিবার সামর্থ্যকে তাহার শক্তি বলে।** এই শক্তি আছে বলিয়া জগৎ চলিতেছে; শক্তির অভাবে জগৎ অচল। বাষ্পের শক্তির দ্বারা ইঞ্জিন চলিতেছে, বিদ্যুৎ শক্তির দ্বারা নানাবিধ করকারখানা চলিতেছে, পেট্রোল ও নানারকম তৈলের রাসায়নিক শক্তির দ্বারা এরোপ্লেন, গাড়ী প্রভৃতি চলিতেছে।

শক্তিকে মোটামুটি সাত ভাগে ভাগ করা যাইতে পারে। যথা :

(1) যান্ত্রিক শক্তি (Mechanical energy), (2) তাপ-শক্তি (Heat energy), (3) আলোক শক্তি (Light energy), (4) শব্দ শক্তি (Sound energy), (5) চৌম্বকশক্তি (Magnetic energy), (6) তড়িৎ-শক্তি (Electric energy) ও (7) রাসায়নিক শক্তি (Chemical energy)।

আমরা এখানে যান্ত্রিক শক্তি সম্বন্ধে আলোচনা করিব। যান্ত্রিক শক্তিকে প্রধানত দুইভাগে ভাগ করা হয়— (1) **গতিশক্তি** (Kinetic energy) ও (2) **স্থিতিশক্তি** (Potential energy)।

4-8. গতিশক্তি (Kinetic energy) ঃ

তীব্র স্রোতযুক্ত পাহাড়ী নদী লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে জলস্রোতের সঙ্গে সঙ্গে পাথরের টুকরা গড়াইয়া যাইতেছে। পাথরের টুকরাকে গড়াইবার জন্য কিছু কাজ করা প্রয়োজন। জল এই কাজ সম্পাদন করে। কিন্তু কিছু কাজ সম্পন্ন করার মত শক্তি জল কোথা হইতে পায়? জল এই শক্তি সংগ্রহ করে তাহার গতি (motion) হইতে।

বায়ুপ্রবাহ পালে লাগাইয়া নৌকা চালানো হয়, তাহা তোমরা জান। জলের বাধাকে অতিক্রম করিয়া নৌকা চালাইতে কিছু কাজ করা প্রয়োজন। বায়ুপ্রবাহ এই কাজ করে। কিন্তু বায়ু কাজ করিবার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি পায় কিরূপে? বায়ু এই শক্তি সংগ্রহ করে প্রবাহ বা গতি হইতে।

বন্দুক হইতে গুলি ছুঁড়িলে গুলি কাচ ভেদ করিয়া যাইতে পারে। অর্থাৎ উহা কিছু কাজ করিতে পারে। কিন্তু গুলিটিকে কাচের সহিত ঠেকাইয়া রাখিলে গুলি ঐরূপ কোন কাজ করিতে পারে না। সুতরাং গতিশীল অবস্থায় গুলি কাজ করিবার প্রয়োজনীয় শক্তি লাভ করে।

হাই জাম্প বা লং জাম্প দেওয়ার সময় তোমরা নিশ্চয়ই দেখিয়াছ যে কিছুদূর হইতে দৌড়াইয়া আসিয়া কোন ব্যক্তি লাফ দেয়। অর্থাৎ উঁচুতে উঠিতে হইলে যে-কাজ করিতে হয় তাহার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি ঐভাবে দৌড়াইয়া সঞ্চয় করিতে হয়।

এইরূপ, যে-কোন গতিশীল বস্তু তাহার গতির জন্য কিছু শক্তি পায়। এই শক্তিকে গতিশক্তি বলে।

গতিশক্তির পরিমাপ (Measure of kinetic energy) ঃ গতিশীল বস্তুকে বলপ্রয়োগ করিয়া থামাইতে গেলে থামিয়া যাইবার পূর্বমুহূর্ত পর্যন্ত ঐ বলের বিরুদ্ধে বস্তুটি যে কার্য করিবে তাহাই বস্তুটির গতিশক্তির পরিমাপ।

ধর, m ভর ভর-সম্পন্ন কোন বস্তুকণা 'u' বেগে চলিতেছে। ইহার গতির বিরুদ্ধে উহার উপর P বলপ্রয়োগ করা হইল। ইহাতে বস্তুকণার বেগ মন্দীভূত হইবে অর্থাৎ একটি মন্দনের সৃষ্টি হইবে এবং বস্তুকণা অবশেষে স্থির অবস্থায় আসিবে। ধর, বস্তুকণার f মন্দন সৃষ্টি হইল এবং স্থির হইবার পূর্বে সে S দূরত্ব গেল। এই অবস্থায় আমরা বলিতে পারি, বস্তুকণা P বলের প্রয়োগ বিন্দুকে S দূরত্ব সরাইয়া লইল।

সুতরাং বস্তুকণা কর্তৃক কৃত কার্য $=$ বল $\times$ বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ $= P \times S$.

এখন, নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে আমরা জানি, $P = m.f.$

আবার বস্তুকণার অন্তিম বেগ $v=0$, কারণ উহা শেষ পর্যন্ত স্থির অবস্থায় আসিল। অতএব, $v^2=u^2+2f.S$ হইতে লেখা যায়,

$0=u^2+2(-f).S$ বা $S=\frac{u^2}{2f}$ [f ঋণাত্মক কারণ উহা মন্দন]

কাজেই, বস্তু কর্তৃক কৃত কার্য $=P\times S=mf\times\frac{u^2}{2f}=\frac{1}{2}mu^2$

অর্থাৎ বস্তুর গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mu^2=\frac{1}{2}\times$ ভর $\times$ (গতিবেগ)^2

আবার, m ভরের কোন বস্তুর উপর P বল ক্রিয়া করিলে যদি বস্তুর বেগ u হইতে পরিবর্তিত হইয়া v হয় এবং ঐ সময়ে যদি বস্তু বলের অভিমুখে S দূরত্ব অতিক্রম করে তবে,

গতিশক্তির পরিবর্তন $=\frac{1}{2}m(v^2-u^2)=\frac{1}{2}m\times 2f.S=m.f.S=P.S.$

অর্থাৎ গতিশক্তির পরিবর্তন = বলকর্তৃক কৃত কার্য।

লক্ষ্য কর যে, যখন কোন বস্তুর দ্রুতি বা গতিবেগ সুষম থাকে তখন উহার গতিশক্তির কোন পরিবর্তন হয় না; ফলে কৃত কার্য হয় শূন্য। আবার, যদি গতিশক্তি হ্রাস পায়, তাহা হইলে কৃত কার্য ঋণাত্মক হয়। সেক্ষেত্রে বস্তুর সরণ এবং বলের অভিমুখ পরস্পরের বিপরীত।

উদাহরণঃ (1) 50 গ্রাম ভরের একটি বস্তুকে কোন উচ্চতা হইতে অবাধে অবতরণ করিতে দেওয়া হইল। 5 সেকেণ্ড পরে বস্তুটির গতিশক্তি কি হইবে?

উঃ। এখানে, প্রথমে নির্ণয় করিতে হইবে যে 5 সেকেণ্ড পরে বস্তুটির বেগ কত হইল। প্রশ্ন হইতে জানা যায় $u=0$; $f=g=980$ সে. মি./সে.^{2}; $t=5$ সেকেণ্ড; $v=?$

এখন, $v=u+gt=0+980\times 5=4900$ সে. মি./সে.

কাজেই বস্তুর গতিশক্তি $=\frac{1}{2}\times m\times v^2=\frac{1}{2}\times 50\times(4900)^2$ আর্গ

$=25\times(4900)^2$ আর্গ $=6\times 10^8$ আর্গ

$=60$ জুল

(2) 5 gm ভরের একটি বুলেট 20 cm পুরু একটি কাঠের বলক-কে 800 m/s বেগে আঘাত করিল এবং 200 m/s বেগ লইয়া নির্গত হইল। বুলেটের (i) প্রাথমিক গতিশক্তি (ii) চূড়ান্ত গতিশক্তি এবং (iii) কাঠের রোধ অতিক্রম করিবার জন্য গতিশক্তির ক্ষয় নির্ণয় কর।

উঃ। বুলেটের ভর $=5$ gm $=0{\cdot}005$ kg.

(i) প্রাথমিক গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mu^2=\frac{1}{2}\times 0{\cdot}005\times(800)^2=1600$ joule

(ii) চূড়ান্ত ,, $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times 0{\cdot}005\times(200)^2=100$ joule

(iii) গতিশক্তির ক্ষয় $=(1600-100)=1500$ joule.

(3) একটি স্থির বস্তুকণার উপর একটি নির্দিষ্ট বল 5 সেকেণ্ড ধরিয়া প্রযুক্ত হইবার পর তাহার ভরবেগ ও গতিশক্তি হয় যথাক্রমে 1000 gm-cm/sec এবং 5000 erg. ; বস্তুকণাটির ভর ও বলটির মান কত? [*M. Exam., 1988*]

উঃ। ধর বস্তুকণার ভর m এবং বলের মান P ; প্রাথমিক ভরবেগ=0 এবং চূড়ান্ত ভরবেগ=1000 gm-cm/s ; আমরা জানি, $P\times t$=ভরবেগের পরিবর্তন ; $\therefore\ P\times 5=1000-0=1000$ অথবা $P=200$ dynes ; আবার, গতিশক্তির পরিবর্তন$=\frac{1}{2}m(v^2-u^2)$

$$=\tfrac{1}{2}mv^2 \qquad [\because\ u=0]$$
$$=\tfrac{1}{2}m(f.t)^2 \qquad [\because\ v=ft.]$$
$$=\tfrac{1}{2}m.\frac{P^2}{m^2}.t^2 \qquad [\because\ P=mf]$$
$$=\tfrac{1}{2}.\frac{P^2}{m}.t^2$$

অথবা, $5000=\frac{1}{2}\times\frac{(200)^2}{m}\times(5)^2$ অথবা $m=100$ gm.

4-9. স্থিতিশক্তি (Potential energy) :

তোমরা খেলনার মোটরগাড়ি দেখিয়াছ। দম দিলে উহা চলিতে শুরু করে। গাড়িটির ভিতর একটি স্প্রীং থাকে। দম দিলে স্প্রীংটি সঙ্কুচিত হইয়া ছোট হয় এবং ছাড়িয়া দিলে প্যাঁচ খুলিয়া পুনরায় পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে। স্প্রীংয়ের সহিত মোটর গাড়ির চাকার এমনভাবে সংযোগ থাকে যে, স্প্রীংটি প্যাঁচ খুলিয়া পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসিবার সময় চাকা ঘুরাইয়া গাড়িটিকে চালায়। স্প্রীংটি স্বাভাবিক অবস্থায় আসিলে আর চাকা ঘুরাইতে পারে না—মোটর গাড়িও আর চলে না। সুতরাং ইহা হইতে বোঝা যায়, স্বাভাবিক অবস্থা হইতে পরিবর্তিত করিয়া স্প্রীংটিকে সঙ্কুচিত করিবার ফলে স্প্রীংটি কিছু কাজ করিবার শক্তি পায়।

ধর, মাটিতে একটি পেরেক অল্প পোতা আছে। এখন একটি হাতুড়িকে কিছু উপরে উঠাইয়া পেরেকটির উপর ফেলিলে পেরেক মাটিতে আরও পুঁতিয়া যাইবে। কিন্তু পেরেকটির মাথায় হাতুড়িটি ছোঁয়াইয়া রাখিলে পেরেক মাটিতে ঢুকিবে না। এখন, পেরেক মাটিতে পুঁতিয়া যাওয়ার অর্থ কিছু কাজ সম্পন্ন হওয়া। হাতুড়ি এই কাজ করে। কিন্তু হাতুড়ি এই কাজ করিবার শক্তি সংগ্রহ করে তখনই যখন হাতুড়িকে কিছু উঁচুতে তোলা হয়।

সুতরাং ইহা হইতে প্রমাণ হয়, স্বাভাবিক (standard) অবস্থা হইতে পরিবর্তন

করিয়া কোন বস্তুকে অন্য অবস্থায় আনিলে সে কিছু শক্তি সঞ্চয় করে। বস্তুর স্থিতির জন্য এই যে শক্তি সঞ্চিত হয় তাহাকে স্থিতিশক্তি বলে।

'm' ভরের বস্তুকে মাটি হইতে খাড়া h উচ্চতায় লওয়া হইলে, ঐ স্থানে বস্তুটির স্থিতিশক্তি $=m.g.h.$

উদাহরণ ঃ 10 কিলোগ্রাম ভরের একটি বস্তুকে 10 মিটার উচ্চে লওয়া হইল। উহার স্থিতিশক্তি কত হইবে?

উ। বস্তুর ভর $=10$ কিলো $=10\times1000$ গ্রাম $=10^4$ গ্রাম।

" ওজন $=10^4\times g=10^4\times980=98\times10^5$ ডাইন

" উচ্চতা $=10$ মিটার $=10\times100=10^3$ সে.মি.

$\therefore$ বস্তুর স্থিতিশক্তি $=$ ওজন $\times$ উচ্চতা $=98\times10^5\times10^3$ আর্গ $=98\times10^8$ আর্গ $=980$ জুল।

যেহেতু এক্ষেত্রে বস্তুর স্থিতিশক্তি পৃথিবীর অভিকর্ষীয় আকর্ষণের দরুন উদ্ভূত হইতেছে, তাই এই স্থিতিশক্তিকে **অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি** বলা হয়।

4-10. শক্তির রূপান্তর (Transformation) ও নিত্যতা (Conservation) ঃ

বিভিন্ন প্রকার শক্তি পরস্পরের সহিত সম্বন্ধযুক্ত অর্থাৎ কোন একটি হইতে অন্যটিতে রূপান্তর সম্ভব। প্রকৃতপক্ষে প্রায় প্রত্যেক প্রাকৃতিক ঘটনাই শক্তির রূপান্তর বলিয়া ধরা যাইতে পারে এবং তাহার ফলে আমরা বিচিত্র প্রাকৃতিক লীলা দেখিতে পাই। নিম্নে রূপান্তরের কয়েকটি সহজ দৃষ্টান্ত দেওয়া হইল।

(ক) জল উচ্চস্থান হইতে নিম্নস্থানে প্রবাহিত হয়। উচ্চস্থানে থাকাকালীন জলের স্থিতিশক্তি নিম্নদিকে যাইবার সময় গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। জলের এই গতিশক্তিকে কাজে লাগাইয়া তড়িৎশক্তি সৃষ্টি করা হয়।

(খ) যখন বিজলী বাতির ফিলামেন্টের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ হয় তখন আমরা আলো পাই। এস্থলে বৈদ্যুতিক শক্তি আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে।

(গ) স্টীম এঞ্জিনে তাপের সাহায্যে স্টীম উৎপন্ন করিয়া রেলগাড়ী চালানো হয়। এস্থলে তাপশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে।

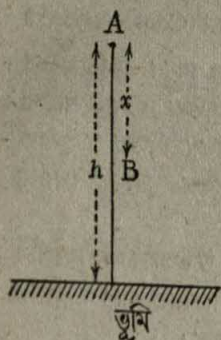
(ঘ) যখন আমরা দুই হাতের তালু ঘষি তখন হাত গরম হইয়া ওঠে। এখানে যান্ত্রিক শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে।

(ঙ) যখন তড়িৎপ্রবাহ বৈদ্যুতিক পাখায় অথবা হীটারে যায় তখন পাখা ঘুরিতে শুরু করে এবং হীটার গরম হইয়া ওঠে। এক্ষেত্রে তড়িৎশক্তি যথাক্রমে যান্ত্রিক শক্তি ও তাপ-শক্তিতে রূপান্তরিত হইল।

(চ) জলবিদ্যুৎ কেন্দ্রে যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়। এইরূপ বিভিন্ন দৃষ্টান্ত দ্বারা দেখানো যাইতে পারে যে একপ্রকার শক্তির অন্য আর এক প্রকার শক্তিতে রূপান্তর সম্ভব।

শক্তি যখন একরূপ হইতে অন্য রূপে পরিবর্তিত হয় তখন শক্তির কোন বিনাশ হয় না। এক বস্তু যে পরিমাণ শক্তি হারাইবে অন্য বস্তু ঠিক সেই পরিমাণ শক্তি লাভ করিবে। প্রকৃতপক্ষে আমরা কোন নুতন শক্তি সৃষ্টি করিতে পারি না বা শক্তি ধ্বংস করিতেও পারি না। বিজ্ঞানীগণ বিশ্বাস করেন যে, এই বিশ্বসৃষ্টির প্রথম দিন যে পরিমাণ শক্তি ছিল আজও সেই পরিমাণ শক্তি বর্তমান। এই সূত্রকে শক্তির নিত্যতা বা সংরক্ষণ সূত্র বলে।

4-11. অভিকর্ষের অধীনে পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র (Principle of conservation of energy in the case of a body falling freely under gravity) ঃ

ধর, m ভর-সম্পন্ন কোন বস্তুকে ভূমি হইতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে h খাড়া উচ্চতায় তোলা হইল এবং A বিন্দুতে স্থির রাখা হইল [চিত্র 23(a)]। A-বিন্দুতে স্থির থাকার সময় বস্তুর সমস্ত শক্তিই স্থিতিশক্তি। এখন বস্তু যতই ভূমির দিকে পড়িবে ততই উহার বেগ বৃদ্ধি পাইবে—অর্থাৎ স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইবে। প্রমাণ করা যাইবে, পতনপথের সর্বত্র বস্তুর স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফলের পরিমাণ ধ্রুবক হইবে।

চিত্র নং 23 (a)

প্রমাণ ঃ A বিন্দুতে বস্তুর স্থিতিশক্তি $=mgh$ এবং গতিশক্তি$=0$

A বিন্দুতে বস্তুর মোটশক্তি$=mgh+0=mgh$

ধর, বস্তুটি A বিন্দু হইতে x দূরত্ব পড়িয়া B বিন্দুতে আসিল। B বিন্দুতে বস্তুর স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি উভয়ই থাকিবে, কারণ উহা এখনও ভূমি হইতে কিছু উপরে আছে এবং উহার কিছু বেগ উৎপন্ন হইয়াছে।

B বিন্দুতে বস্তুর স্থিতিশক্তি$=mg(h-x)=mgh-mgx$

যদি B বিন্দুতে বস্তুর বেগ v ধরা হয়, তবে B বিন্দুতে উহার গতিশক্তি$=\frac{1}{2}mv^2$

এখন, বস্তুর প্রারম্ভিক বেগ $u=0$; $f=g$ এবং $S=x$; কাজেই

$v^2=u^2+2f.S$ সমীকরণ হইতে আমরা লিখিতে পারি, $v^2=0+2gx$

$\therefore$ B বিন্দুতে বস্তুর গতিশক্তি$=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\times 2gx=mgx$

সুতরাং B বিন্দুতে বস্তুর মোট শক্তি $= mgh - mgx + mgx = mgh$
$=$ A বিন্দুতে বস্তুর মোট শক্তি।

অতএব, বলা যায় পতনপথের সর্বত্র বস্তুর মোট শক্তি সংরক্ষিত থাকে।

যখন বস্তুটি মাটিতে পড়ে তখন উহা স্থির হয়। আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় তাহার সমস্ত শক্তি নষ্ট হইল। কিন্তু তাহা নয়; ঐ শক্তি অংশত শব্দ শক্তি এবং অংশত তাপশক্তিতে পরিণত হয়।

4-12. শক্তি ও ক্ষমতার পার্থক্য (Distinction between energy and power) ঃ

আপাতদৃষ্টিতে শক্তি ও ক্ষমতা একই জিনিস বলিয়া মনে হয়; কিন্তু ইহাদের মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য আছে। পার্থক্যগুলি নিম্নরূপ ঃ

শক্তি	ক্ষমতা
1. বস্তুর কাজ করিবার সামর্থ্যকে তাহার শক্তি বলে।	1. সময়ের সাপেক্ষে বস্তুর কাজ সম্পন্ন করিবার হার-কে তাহার ক্ষমতা বলে।
2. মোট কৃত কার্য দ্বারা বস্তুর শক্তি পরিমাপ করা হয়। এই পরিমাপে সময়ের কোন প্রশ্ন নাই।	2. একক সময়ে কৃত কার্য দ্বারা বস্তুর ক্ষমতা পরিমাপ করা হয়। এই পরিমাপে অতিবাহিত সময়ের প্রশ্ন আসে। কৃত কার্যকে অতিবাহিত সময় দ্বারা ভাগ করিলে ক্ষমতা পাওয়া যায়।
3. শক্তি একটি স্কেলার রাশি।	3. ক্ষমতা একটি স্কেলার রাশি।
4. সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে শক্তির পরম ও অভিকর্ষীয় একক যথাক্রমে আর্গ ও গ্র্যাম-সেন্টিমিটার এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে যথাক্রমে ফুট-পাউণ্ডাল ও ফুট-পাউণ্ড।	4. সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষমতার পরম ও অভিকর্ষীয় একক যথাক্রমে আর্গ/সে. ও গ্র্যাম-সেন্টিমিটার এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে যথাক্রমে ফুট-পাউণ্ডাল/সে. ও ফুট-পাউণ্ড/সে.।

4-13. সৌরশক্তি সকল শক্তির মূল ঃ

সৌর-দেহ বিরাট শক্তির আধার। এই শক্তিই পার্থিব সকল শক্তির মূল। সূর্য উঠিলে আমরা উত্তাপ পাই। গাছপালা, উদ্ভিদ্ ইত্যাদি সূর্যরশ্মির সাহায্যে বায়ুমণ্ডল হইতে খাদ্য সংগ্রহ করিয়া বৃদ্ধি পায়। আমরা যে সমস্ত খাদ্য গ্রহণ করিয়া শক্তি সংগ্রহ করি সেই সমস্ত খাদ্যের বেশীর ভাগ উপকরণ শক্তি সংগ্রহ করে সূর্যরশ্মি হইতে। কয়লা পোড়াইয়া আমরা যথেষ্ট শক্তি পাই। এই কয়লা আর কিছুই নয়—বহুদিন ভূগর্ভে প্রোথিত গাছপালা। সুতরাং গাছপালা কর্তৃক সূর্যরশ্মি হইতে সঞ্চিত শক্তি ক্রমশ সময়ের ব্যবধানে

কয়লার রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। সূর্যের তাপে নদী, পুকুর প্রভৃতি জলাশয় হইতে জল বাষ্পে পরিণত হইয়া মেঘ হয় এবং কালক্রমে মেঘ হইতে বৃষ্টিপাত হইয়া পাহাড়-পর্বতে সঞ্চিত হয় এবং পরে তীব্র জলস্রোতের আকারে সমতলভূমিতে নামিয়া আসে। এই জলস্রোতের শক্তিকে কাজে লাগাইয়া বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হয়। অর্থাৎ, সৌরশক্তি হইতে আমরা বিদ্যুৎশক্তি পাই। এইরূপ চিন্তা করিলে দেখা যাইবে যে, পৃথিবীতে যে-বিভিন্ন শক্তির লীলা চলিতেছে তাহার মূল উৎস সূর্য।

প্রশ্নাবলী

1. 'কার্য' ও 'ক্ষমতা' কাহাকে বলে? সি. জি. এস্. ও এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহাদের ব্যবহারিক এককের নাম কি? উক্ত এককদ্বয়ের পারস্পরিক সম্পর্ক কি?

[*M. Exam., 1982, '84, '85*]

2. 'কার্য' বলিতে কি বুঝায়? বলের দ্বারা কার্য করা এবং বলের বিরুদ্ধে কার্য করা—এ দুই-এ পার্থক্য কি? উদাহরণ দিয়া বুঝাইয়া দাও।

3. কার্য ও ক্ষমতার বিভিন্ন এককগুলি বুঝাইয়া লিখ।

4. ওয়াট ও হর্সপাওয়ারের সংজ্ঞা দাও। উহাদের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[*M. Exam., 1980, '85*]

5. শক্তি কাহাকে বলে? উদাহরণসহ দুই প্রকার যান্ত্রিক শক্তির প্রভেদ বুঝাইয়া দাও।

6. (a) শক্তির রূপান্তর বলিতে কি বুঝ? ইহার কয়েকটি দৃষ্টান্ত দাও। একটি পতনশীল বস্তুর শক্তি কিভাবে পরিবর্তিত হয়? [*M. Exam., 1985*]

(b) প্রমাণ কর যে পতনশীল কোন বস্তুর গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফলের পরিমান ধ্রুবক। [*M. Exam. 1980, '82*]

7. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর সংক্ষেপে লেখ:

(ক) জনৈক ব্যক্তি স্রোতের বিরুদ্ধে এরূপভাবে সাঁতার কাটিতেছে যে সে তীরভূমির সাপেক্ষে স্থির আছে। ঐ ব্যক্তি কি কোন কার্য করিতেছে? যদি সে সাঁতার কাটা বন্ধ রাখিয়া স্রোতে গা ভাসাইয়া দেয় তবে কি তাহার উপর কোন কার্য করা হয়? করা হইলে, কে এই কার্য করে?

(খ) সমতল রাস্তা বরাবর একটি গাড়ী স্থির মানের বেগে ছুটিতেছে এবং গাড়ীর উপর কোন নীট বল (net force) ক্রিয়া করিতেছে না। এই অবস্থায় গাড়ীর উপর কোন কার্য করা হইতেছে কি?

(গ) দড়ি টানাটানি খেয়ায়, দুর্বল দল শক্তিশালী দলের নিকট ধীরে ধীরে হার স্বীকার করিতেছে। এক্ষেত্রে কোন্ দল কার্য করিতেছে?

8. কোন বস্তুর কি শক্তি ছাড়া ভরবেগ বা ভরবেগ ছাড়া শক্তি থাকিতে পারে?

[**সংকেত** : বস্তুর স্থিতিশক্তি থাকিলে ভরবেগ নাও থাকিতে পারে; কিন্তু ভরবেগ থাকিলে গতিবেগ থাকিবে এবং সেক্ষেত্রে গতিশক্তি থাকিবে।]

9. সংজ্ঞা দাও : আর্গ, জুল, ফুট-পাউণ্ড, ওয়াট ও হর্সপাওয়ার। [*M. Exam., 1983, '86*]

10. ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও ও উহার এম্. কে. এস্. এককটি লিখ। [*M. Exam., 1988*]

11. শক্তির সংরক্ষণ সূত্র ব্যাখ্যা কর। তড়িৎ শক্তির যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরের একটি দৃষ্টান্ত দাও। [*M. Exam., 1985*]

12. ক্ষমতা বলিতে কি বোঝ? অশ্বক্ষমতা কি? ইহার সহিত কিলোওয়াটের সম্পর্ক কি? [*M. Exam., 1985*]

13. শক্তি ও ক্ষমতার সংজ্ঞা লেখ। স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির পার্থক্য কি? [*M. Exam., 1986*]

14. কার্য কাহাকে বলে? কার্যের সি. জি. এস্. এককের সংজ্ঞা দাও। ব্যবহারিক এককে উহার মান কত? অশ্বশক্তি ও কিলোওয়াট-ঘন্টা বলিতে কি বুঝায়? [*M. Exam., 1987*]

● Objective type :

15. (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত উক্তিগুলির পাশে দেওয়া তিনটি বিকল্প হইতে উপযুক্ত বিকল্প বাছিয়া লইয়া অসম্পূর্ণ উক্তিগুলি সম্পূর্ণ কর :

(a) এক ব্যক্তি একটি ভারী ব্যাগ হাতে ঝুলাইয়া রাস্তা দিয়া হাঁটিতেছে। সে—

(i) ব্যাগের উপর কার্য করিতেছে, (ii) ব্যাগের উপর কার্য করিতেছে না, (iii) কার্য করিবে যদি ব্যাগ খুব হালকা হয়।

(b) যে-পদ্ধতিতে কার্যের একক নিউটন-মিটার তাহাকে বলা হয়—

(i) সি. জি. এস্. পদ্ধতি, (ii) এম্. কে. এস্. পদ্ধতি, (iii) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি।

(c) ঘড়িতে দম দিলে, স্প্রিং-এ যে শক্তি সঞ্চিত হয় তাহা—

(i) মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি, (ii) স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি, (iii) গতিশক্তি।

(d) m ভরের একটি বস্তুর গতিশক্তি E; উহার ভরবেগ—

(i) $2mE$ (ii) $\sqrt{2mE}$, (iii) $\sqrt{mE}$.

(e) 1 অশ্বশক্তি বুঝায়—

(i) 1 সেকেণ্ডে 500 ফুট-পাউণ্ড কার্য, (ii) 1 সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড কার্য, (iii) 1 সেকেণ্ডে 746 ফুট-পাউণ্ড কার্য।

16. নিম্নলিখিত তালিকার শূন্যস্থান পূরণ কর ঃ

রাশি	পরম			মহাকর্ষীয়		
	সি.জি.এস্.	এফ্.পি.এস্.	এম্.কে.এস্.	সি.জি.এস্.	এফ্.পি.এস্.	এম্.কে.এস্.
কার্য	আর্গ	..	..	..	..	কিলোগ্রাম/ মিটার
..	..	ফুট-পাউণ্ড/ প্রতিসেকেণ্ডে	ওয়াট	..	..	..

17. নিম্নলিখিত বাক্যগুলির শূন্যস্থান পূর্ণ কর ঃ

(a) কার্য করিবার সামর্থ্যকে বলা হয় —।

(b) অশ্বক্ষমতা — পদ্ধতিতে --- একক।

(c) ওয়াট — পদ্ধতিতে — একক।

(d) ওয়াট-ঘন্টা — পদ্ধতিতে — একক।

(e) 1 অশ্বক্ষমতা = — ওয়াট।

(f) 1 কিলোগ্র্যাম-মিটার = — জুল।

(g) যখন আমরা হাতের দুই তালু ঘষি তখন — শক্তি — শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

অঙ্ক ঃ

18. 2 অশ্বশক্তি মেসিনকে 10 ঘন্টা চালু রাখা হইল। মেসিন যে কার্য করিল তাহা—(i) ফুট-পাউণ্ড এককে এবং (ii) কিলোওয়াট-ঘন্টা এককে নির্ণয় কর।

[Ans. (i) $3{\cdot}96 \times 10^6$ (ii) 14·92]

19. 10 কিলো-ওয়াট ক্ষমতা কত অশ্বক্ষমতার সমান?

[Ans. 13·3] [*M. Exam., 1988*]

20. 1 kilogram ভর-সম্পন্ন একটি বস্তুকে 40 metres উঁচুতে তুলিতে কত কার্য করিতে হয়? $g=981$ cm/s^2.

[Ans. 98·1 joules]

21. 11 stone ওজনের একজন মানুষ 6000 ft. উঁচু পাহাড়ে উঠিলে কত কার্য করে? [1 stone=14 lb.]

[Ans. 92,000 ft. lbs]

22. একটি ইঞ্জিন প্রতি মিনিটে 13200 lb. জল 48 ft./sec. বেগে উৎক্ষেপ করিতে পারে। ইঞ্জিনের হর্স পাওয়ার নির্ণয় কর।

[Ans. $14\frac{2}{3}$]

23. 180 lb. ওজনবিশিষ্ট কোন মানুষ 5 মিনিটে 200 ft. উঁচু গম্বুজে উঠিতে পারে। মানুষটির ক্ষমতা হর্স পাওয়ারে নির্ণয় কর।

[Ans. 0·218]

24. একটি পাম্প কুয়া হইতে প্রতি মিনিটে 5000 gallon জল গড়ে 20 ft. উঁচুতে তুলিতে পারে। যদি পাম্পটি পূর্ণ ক্ষমতার 70% কার্যকর হয় তবে উহার ক্ষমতা কত?

[Ans. 43·3 H.P.]

25. 20 পাউণ্ডের একটি বস্তু ভূপৃষ্ঠ হইতে 10 ft. উচ্চতায় আছে। উহার স্থিতিশক্তি কত হইবে? বস্তুটিকে পড়িতে দিলে উহার চূড়ান্ত গতিশক্তি কত হইবে?

[Ans. 6400 ft-poundal ; 6400 ft-poundal] [*M. Exam., 1984*]

26. 1 kg. ভরের বস্তুকে 100 metre উঁচু মিনারের উপর হইতে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। বস্তুটির গতিশক্তি—(i) ছাড়িয়া দিবার 1 sec. পরে এবং (ii) মিনারের পাদদেশে পেঁছিবার মুহূর্তে কত হইবে হিসাব কর। [Ans. (i) $48{\cdot}02 \times 10^7$ erg (ii) 98×10^8 erg]

27. স্থিরাবস্থায় থাকা 10 gm ভরের উপর 5 dyne বল প্রয়োগ করা হইল। 4 sec পরে উহার গতিশক্তি কত হইবে? [Ans. 320 ergs] [*M. Exam., 1986*]

28. ভারোত্তোলনের ক্ষেত্রে বিশ্বরেকর্ড অধিকারী হইলেন সোভিয়েট রাশিয়ার ডিডাইক। তিনি 4 সেকেণ্ডে 261 kg ভর 2·3 মিটার উঁচুতে তোলেন। তিনি কত কার্য করিয়াছিলেন এবং কত ক্ষমতা প্রয়োগ করিয়াছিলেন নির্ণয় কর। $g = 10$ metre/s^2.

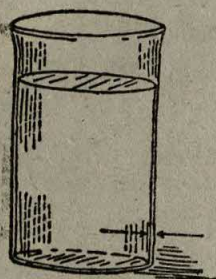
[Ans. 6003 j ; 1500·75 watt]

উদস্থিতিবিদ্যা
(Hydrostatics)

5-1. সূচনা ঃ

স্থির তরল কতকগুলি বৈশিষ্ট্যের অধিকারী। এই বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা করাই উদস্থিতিবিদ্যার উদ্দেশ্য। উদস্থিতিবিদ্যায় যে-তরলের কথা বলা হইবে উহা কয়েকটি গুণবিশিষ্ট ধরিয়া লইতে হইবে। যেমন ঐ তরলের সংনম্যতা (compressibility) থাকিবে না এবং ঘর্ষণজনিত বলপ্রয়োগ করিবে না। তাছাড়া তরলের নিজস্ব আয়তন থাকে—কিন্তু কোন বিশেষ আকার থাকে না। যে-পাত্রে রাখা যায় তরল সেই পাত্রের আকার ধারণ করে।

5-2. তরলের চাপ (Pressure of a liquid) ঃ

কোন পাত্রে তরল পদার্থ রাখিলে তরল ঐ পাত্রের দেওয়াল ও তলদেশে বল প্রয়োগ করে। **প্রতি একক ক্ষেত্রে (unit area) তরল যে বল প্রয়োগ করে তাহাকে তরলের চাপ বলে।**

পরীক্ষা ঃ দেওয়ালে ছিদ্র আছে এরূপ একটি পাত্রে জল ঢাল (চিত্র নং 24)। দেখিবে ছিদ্র দিয়া জল বাহির হইয়া আসিতেছে। ছিদ্রের আকারের সমান একটি চাক্‌তি ছিদ্রের মুখে রাখিয়া জলপ্রবাহ বন্ধ করা যায়। কিন্তু চাক্‌তিকে স্থির রাখিতে হইলে উহার উপর বাহির হইতে জল প্রবাহের বিপরীত দিকে বল-প্রয়োগ করিতে হইবে। সুতরাং ইহা হইতে বোঝা যায়, জল পাত্রের দেওয়ালে বলপ্রয়োগ করে।

জলের চাপ চিত্র নং 24

5-3. কোন বিন্দুতে তরলের চাপ (Pressure of a liquid at a point) ও ঘাত (Thrust) ঃ

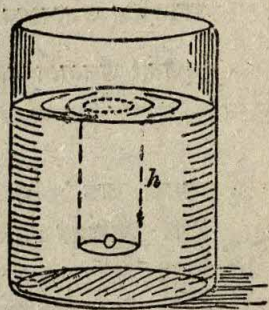
যে-বিন্দুতে জলের চাপ নির্ণয় করিতে হইবে উহার চতুর্দিকে একটি ছোট ক্ষেত্রফল A কল্পনা কর। যদি মনে করা যায় যে, উক্ত ক্ষেত্রফলের উপর তরল মোট বল F প্রয়োগ করিতেছে, তবে ঐ বিন্দুতে তরলের চাপ হইবে $F \div A$.

ঘাত বলিতে ঐ ক্ষেত্রফলের উপর তরল মোট যে-বল প্রয়োগ করিতেছে, তাহাই বুঝায়। অর্থাৎ **ঘাত = চাপ × ক্ষেত্রফল।**

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ঘাতের একক dyne, কিন্তু চাপের একক dyne/sq. cm.

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘাতের একক poundal, কিন্তু চাপের একক poundal/sq. ft.

5-4. তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে চাপের পরিমাণ নির্ণয় (Calculation of pressure at a point in a liquid) ঃ

মনে কর, একটি পাত্রে খানিকটা তরল রাখা হইল এবং তরলের ভিতর 'h' গভীরতায় একটি বিন্দু O আছে [চিত্র 24 (a)]। O বিন্দুতে তরলের চাপ কত তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। O বিন্দুর চতুর্দিকে একটি একক ক্ষেত্রফল কল্পনা কর এবং ঐ ক্ষেত্রফলের সীমানা হইতে কতকগুলি লম্ব তরলের উপরতল পর্যন্ত টান। ইহার ফলে তরলের একটি চোঙ্‌ (cylinder) পাওয়া যাইবে। এই তরলের চোঙের যাহা ওজন, তাহাই হইল O বিন্দুর চতুর্দিকস্থ একক ক্ষেত্রফলের প্রযুক্ত বল। অর্থাৎ এই তরল চোঙের ওজন O বিন্দুতে তরলের চাপের সমান।

চিত্র নং 24 (a)

চোঙ্‌টির আয়তন $=h\times 1$ [কারণ চোঙ্‌টির গোলমুখের ক্ষেত্রফল $=1$] সুতরাং চোঙ্‌টির ভর $=$ আয়তন $\times$ ঘনত্ব $=h\times d$ [যদি d তরলের ঘনত্ব ধরা যায়]।

চোঙ্‌টির ওজন $=$ ভর $\times g=h\times d\times g$ সুতরাং O বিন্দুতে চাপ $P=h.d.g.$

চাপ $=$ গভীরতা $\times$ ঘনত্ব $\times$ অভিকর্ষজ ত্বরণ

অথবা, চাপ $\propto$ গভীরতা $\times$ ঘনত্ব [কারণ 'g' ধ্রুবক]

[**দ্রষ্টব্য** ঃ সি. জি. এস্‌. পদ্ধতিতে ঘাত এবং চাপের একক যথাক্রমে ডাইন এবং ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার উল্লেখ করা হইয়াছে। তেমনি এফ্‌. পি. এস্‌. পদ্ধতিতে উহারা যথাক্রমে পাউণ্ডাল এবং পাউণ্ডাল প্রতি বর্গ ফুট। এই এককগুলি ঘাত এবং চাপের পরম একক (absolute units)।

চাপ নির্ণয় যদি গভীরতা এবং ঘনত্বের গুণফল দ্বারা করা হয় তবে চাপ অভিকর্ষীয় একক দ্বারা প্রকাশিত হইবে। সি, জি. এস্‌. পদ্ধতিতে চাপের অভিকর্ষীয় একক গ্রামভার প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার (gm-wt per sq. cm.) এবং এফ্‌. পি. এস্‌. পদ্ধতিতে পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গ ফুট (lb.-wt. sq. ft)।]

উদাহরণ ঃ (1) কোন তরলের ভিতর 200 cm. গভীরতায় কোন বিন্দুতে চাপ নির্ণয় কর। তরলের ঘনত্ব 1·03 gm/c.c.

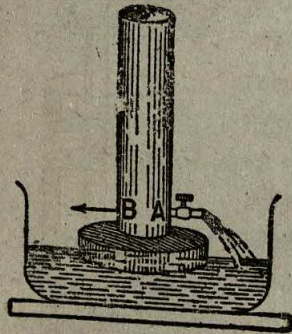
উঃ। এস্থলে $h=200$ cm. ; $d=1{\cdot}03$ gm/c.c ; $g=980$ cm/sec^2.

নির্দিষ্ট বিন্দুতে চাপ, $P=h.d.g.=200\times 1{\cdot}03\times 980$

$=20{,}1880$ dynes/sq. cm. [পরম একক]

অথবা, চাপ $=200\times 1{\cdot}03=206$ gm. wt/sq. cm. [অভিকর্ষীয় একক]

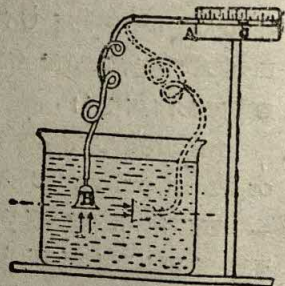
নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা পরীক্ষাগারে তরলের পার্শ্বচাপ দেখানো যাইতে পারে।

পরীক্ষা ঃ একটি খুব পাতলা ধাতব চোঙ্ লইয়া উহার নিম্ন প্রান্তের কাছাকাছি গায়ে একটি ছিদ্র কর এবং ছিদ্রটি প্যাঁচকল দিয়া খোলা বা বন্ধ করিবার ব্যবস্থা কর। চোঙ্‌টি নিশ্ছিদ্রভাবে (water-tight) একটি পাতলা কর্কের উপর বসাও এবং সমগ্র জিনিসটি জলের উপর ভাসাইয়া রাখ। এখন আস্তে আস্তে চোঙ্ জলপূর্ণ কর। দেখিবে চোঙ্ এক জায়গায় স্থির হইয়া ভাসিবে। অতঃপর খুব সাবধানে প্যাঁচকল খুলিয়া দাও। দেখিবে কলের মুখ দিয়া জল বাহির হইয়া আসিতেছে কিন্তু সমগ্র জিনিসটি জলপ্রবাহের বিপরীত দিকে [তীরচিহ্নের দিকে] আস্তে আস্তে সরিয়া যাইতেছে [26নং চিত্র]। উহার কারণ জলের পার্শ্বচাপ।

তরল পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে

চিত্র নং 26

যখন প্যাঁচকল বন্ধ ছিল তখন জল চোঙের গায়ে সর্বত্র সমানভাবে পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করিতেছিল। যে-কোন তলে (level) এই পার্শ্বচাপ সমান ও বিপরীত বলিয়া চোঙ্ স্থির ছিল। কিন্তু যেই প্যাঁচকল খুলিয়া দেওয়া হইল অমনি খোলা মুখ দিয়া জল বাহির হইতে লাগিল। ফলে A বিন্দুতে জলের পার্শ্বচাপ রহিল না কিন্তু বিপরীত বিন্দু B-তে চাপ ঠিকই রহিল। সুতরাং AB তলে অসম (unbalanced) চাপ ক্রিয়া করার ফলে সমগ্র জিনিসটি AB অভিমুখে আস্তে আস্তে সরিয়া গেল।

(ঘ) স্থির তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে তরল চতুর্দিকে সমান চাপ প্রয়োগ করে (Liquid, at rest, exerts pressure at a point within it in all directions with equal magnitude) ঃ

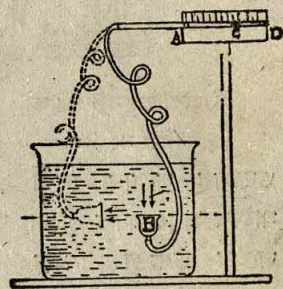
B একটি কাচের ফানেল। উহার মুখ পাতলা রবার দ্বারা আট্‌কানো। ফানেলটি সরু ছিদ্রবিশিষ্ট কাচের নল A-র সহিত রবার নল দিয়া সংযুক্ত। কাচের নলটি অনুভূমিক অবস্থায় একটি ফ্রেমে (D) আটকানো। ফ্রেমটির সঙ্গে একটি স্কেল

তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে চতুর্দিকের চাপ সমান

চিত্র নং 27

লাগানো আছে। A নলটির ভিতর একফোঁটা রঙিন জল (ছবিতে c) রাখা আছে। উহা সূচকের (index) কাজ করিবে [27 নং চিত্র]।

পরীক্ষা ঃ একটি গভীর পাত্র জলপূর্ণ কর। ফানেলটির মুখ নিম্নাভিমুখী করিয়া জলের ভিতর প্রবেশ করাও। দেখিবে সূচকটি ডানদিকে সরিয়া গিয়াছে। ফানেলটির মুখে জলের ঊর্ধ্বচাপ পড়ায় ফানেল ও রবার নলের ভিতরস্থ হাওয়া সঙ্কুচিত হইয়া রঙিন জলের ফোঁটাকে চাপ দিয়া সরাইয়া দেয়। ইহা দ্বারা জলের ঊর্ধ্বচাপ দেখান হইল।

এখন ফানেলটির মুখ একই গভীরতায় রাখিয়া উপরে, নীচে, পার্শ্বে চতুর্দিকে ঘুরাও [27 ও 28 নং চিত্র]। দেখিবে সূচকটি একই জায়গায় স্থির থাকিবে। ইহার দ্বারা প্রমাণ হয় যে, তরলের অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে তরল চতুর্দিকে সমানভাবে চাপ প্রয়োগ করে।

ইহা ছাড়া যদি ফানেলের মুখ একই গভীরতায় রাখিয়া ডানদিকে বা বামদিকে সরানো যায় তবে দেখা যাইবে যে সূচকের কোন স্থান পরিবর্তন হইতেছে না। ইহা প্রমাণ করে, যে-কোন অনুভূমিক তলে (horizontal level) সর্বত্র তরলের চাপ সমান।

একই অনুভূমিক তলের সকল বিন্দুতে চাপ সমান

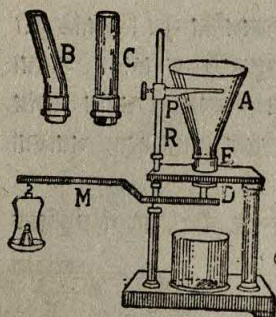
চিত্র নং 28

(ঙ) কোন তরল-পূর্ণ পাত্রের তলদেশে ঘাত তরলের গভীরতা ও তলদেশের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে (Thrust exerted by a liquid on the base of a vessel depends on the area of the base and the height of the liquid) ঃ

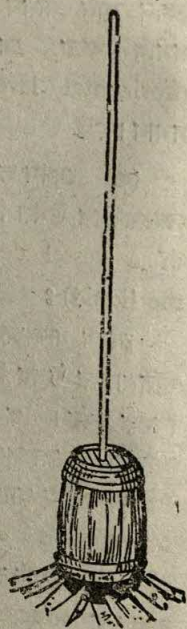
কোন পাত্র জলপূর্ণ করিলে পাত্রের তলদেশে যে ঘাত পড়ে তাহা মোট জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না ; তলদেশের ক্ষেত্রফল ও জলের গভীরতার উপর নির্ভর করে। প্রথমত এই ব্যাপার অবিশ্বাস্য বলিয়া মনে হয়, কারণ স্বভাবতই আমরা ধরিয়া লই যে, মোট জলের পরিমাণের উপর ঘাত নির্ভর করা উচিত। এই জন্য এই ব্যাপারটিকে **উদস্থৈতিক কূট** (hydrostatic paradox) বলে।

পরীক্ষা ঃ A, B, C কতকগুলি দুমুখ খোলা ভিন্ন আকার ও আয়তনের পাত্র, কিন্তু ইহাদের ভূমির (base) প্রস্থচ্ছেদ (cross—section) সমান। ইহাদের বলা হয় পাস্কালের পাত্র। ইহাদের প্রত্যেককেই একটি পাটাতনের উপর আট্‌কানো প্যাঁচ E-র সহিত লাগানো যায়। প্যাঁচ E-এর মুখের ক্ষেত্রফল

পাত্রগুলির ভূমির প্রস্থচ্ছেদের সমান। D একটি ধাতব চাক্‌তি। ইহা প্যাঁচ E-এর মুখ বন্ধ করিতে পারে। একটি দণ্ডের (M) একপ্রান্তে এই চাক্‌তিটি আট্‌কানো এবং অন্য প্রান্তে একটি তুলাপাত্র ঝুলানো আছে। P একটি সূচক যাহা R দণ্ড বাহিয়া উঠানো বা নামানো যায় [29 নং চিত্র]।

উদস্থৈতিক কূট পরীক্ষা
চিত্র নং 29

এখন A পাত্রটিকে E প্যাঁচে আটকাইয়া দাও। তুলাপাত্রে কিছু ওজন রাখ যাহাতে D-চাক্‌তিটি প্যাঁচের মুখে আটকাইয়া থাকে। A পাত্রতে আস্তে আস্তে জল ঢাল। D-চাক্‌তির উপর ক্রমশ জলের ঘাত বাড়িবে। যখন ঘাত তুলাপাত্রে রক্ষিত ওজনের সামান্য বেশী হইবে তখন চাক্‌তি নিজের ভারে আল্‌গা হইয়া যাইবে এবং ফাঁক দিয়া জল পড়িয়া যাইবে। সূচক P দ্বারা A পাত্রের জলের উচ্চতা নির্ণয় করিয়া রাখ। A-পাত্র সরাইয়া একে একে B এবং C পাত্র প্যাঁচে লাগাও। দেখিবে B এবং C পাত্রের জলের উচ্চতা যখন সূচক-নির্দিষ্ট আগেকার উচ্চতার সমান হইল ঠিক তখনই আবার জল বাহির হইয়া পড়িল। অর্থাৎ, D-চাক্‌তির উপর চাপ চাক্‌তির ক্ষেত্রফল এবং উচ্চতার উপর নির্ভর করিতেছে—মোট জলের উপর নয়। কারণ A, B এবং C পাত্রে জলের পরিমাণ ভিন্ন।

পাস্কাল আর একটি মজার পরীক্ষা দ্বারা উপরিউক্ত তথ্য প্রমাণ করিয়াছিলেন।

একটি কাঠের পিপা জলপূর্ণ করা হইল। জলের চাপে পিপাটি অক্ষতই রহিল। পরে একটি 30 ফুট লম্বা সরু নল পিপার মুখে লাগাইয়া তাহাতে জল ভর্তি করা হইল [30 নং চিত্র]। ফলে পিপাটি ফাটিয়া গেল। যদিও খুব কম জলই ঢালা হইল, কারণ, নলটি বেশ সরু, তবুও পিপাটির তলদেশে যে-ঘাত পড়িল তাহা এমন একটি জলস্তম্ভের ঘাতের সমান যে-স্তম্ভের ভূমি (base) হইতেছে পিপার ভূমির সমান এবং উচ্চতা নল পর্যন্ত উচ্চতার সমান। কাজেই ঘাত মোট জলের উপর নির্ভর করে না—নির্ভর করে উচ্চতা ও ভূমির ক্ষেত্রফলের উপর।

পাস্কালের পরীক্ষা
চিত্র নং 30

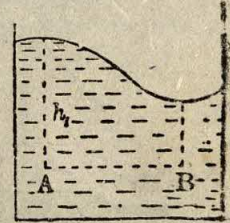
5-6. স্থির তরলের উপরিস্থ তল সর্বদা অনুভূমিক (Free surface of a liquid, at rest, is always horizontal) :

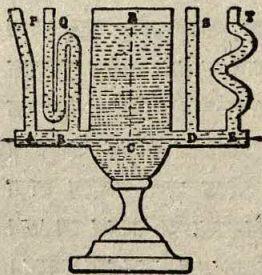
যখন কোন পাত্রে রাখা তরল স্থির থাকে তখন তরলের উপরিস্থ তল সর্বদা অনুভূমিক হয়।

ধরা যাউক, উপরিস্থ তল অনুভূমিক নয়—বক্র (31 নং চিত্র)। তরলের অভ্যন্তরে এক অনুভূমিক তলে A এবং B দুইটি বিন্দু লও। মনে কর, A বিন্দুর গভীরতা h_1 এবং B-বিন্দুর গভীরতা h_2.

A বিন্দুর চাপ$=h_1.d.g.$ [$d=$তরলের ঘনত্ব] B বিন্দুর চাপ$=h_2.d.g.$

চিত্র নং 31

যেহেতু h_2-এর চাইতে h_1 বড়, কাজেই A বিন্দুর চাপ B বিন্দুর চাপের চাইতে বেশী। অতএব তরল স্থির থাকিতে পারে না, A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে যাইবে। তরল স্থির থাকিতে গেলে A এবং B বিন্দুর চাপ সমান হইতে হইবে অর্থাৎ $h_1=h_2$ হইতে হইবে। সুতরাং তরল স্থির থাকিলে উপরিস্থ তল অনুভূমিক হইতে হইবে।

5-7. পরস্পর সংযুক্ত পাত্রে তরল একই তলে থাকিতে চায় (In a communicating vessel liquid finds its own level) :

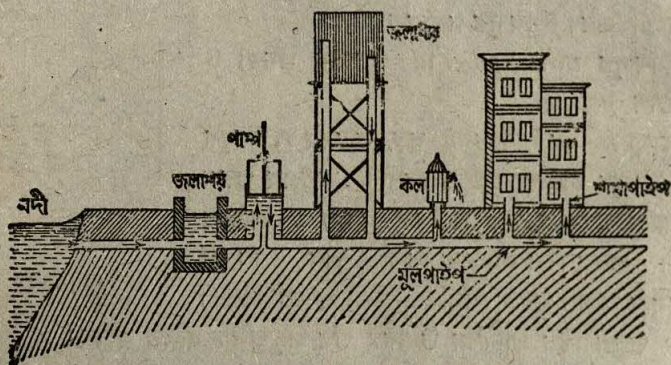
P, Q, R, S, T প্রভৃতি বিভিন্ন আকার ও আয়তনের কতগুলি পরস্পর-সংযুক্ত পাত্র। যে-কোন একটি পাত্র, ধর, P-তে জল ঢালিলে জল অন্য পাত্রেও প্রবেশ করিবে। স্থির অবস্থায় দেখা যাইবে প্রত্যেক পাত্রে জলের উপরিস্থ তল একই অনুভূমিক রেখায় আছে [32 নং চিত্র]। ইহার কারণ নিম্নে বলা হইল।

পরস্পর সংযুক্ত পাত্রে তরল একই তলে থাকে
চিত্র নং 32

একই অনুভূমিক রেখার উপর প্রত্যেক পাত্রের তলদেশে A, B, C, D, E প্রভৃতি বিন্দু লও।

যেহেতু তরল স্থির, কাজেই A, B, C প্রভৃতি বিন্দুতে চাপ সমান। A, B, C প্রভৃতি বিন্দুগুলি একই অনুভূমিক রেখায় স্থাপিত হওয়ায় উপরিস্থ তল হইতে তাহাদের গভীরতা সবই সমান হইবে; নতুবা চাপ সমান হইতে পারে না। অর্থাৎ প্রত্যেক পাত্রের উপরিস্থ তল একই অনুভূমিক রেখায় থাকিবে। তরল

একই তলে থাকিতে চায় (liquid finds its own level)—ইহা তরলের একটি বিশেষ ধর্ম।

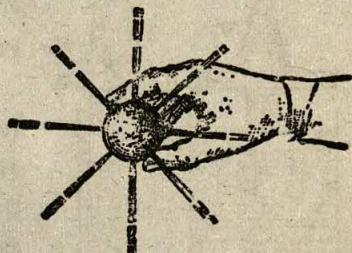
তরল একই তলে থাকিতে চায়—এই ধর্মের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of the property that liquid finds its own level) :

শহরে জল সরবরাহ—তরলের উপরি-উক্ত ধর্মের ফলে শহরের জল সরবরাহ ব্যবস্থা সম্ভবপর হইয়াছে। বড় বড় শহরে পৌর প্রতিষ্ঠান কর্তৃক বাড়ী বাড়ী

শহরে জল সরবরাহ ব্যবস্থা
চিত্র নং 33

পানীয় জল সরবরাহ করা হয়। নিকটবর্তী কোন নদী, হ্রদ বা জলাশয় হইতে পাম্প দ্বারা জল একটি উঁচু জলাধারে জমা করা হয়। এই জলাধারটি শহরের যে সর্বোচ্চস্থানে জল সরবরাহ করিতে হইবে তদপেক্ষা আরও উঁচু স্থানে রাখা হয় [চিত্র নং 33]। সেই আধারের সহিত পাইপ সংযোগ করিয়া পাইপ শহরের বিভিন্ন অংশে লইয়া যাওয়া হয় এবং মূল পাইপ হইতে শাখা-পাইপ বিভিন্ন বাড়ীতে দেওয়া হয়। যে-চাপে বাড়ীতে জল সরবরাহ হয় তাহা আধারের উচ্চতার (head of water) উপর নির্ভর করে। যখন আধার হইতে জল পাইপে ছাড়া হয় তখন ঐ চাপের জন্য জলের চেষ্টা হইবে পাইপ বাহিয়া আধারের যে তল সেই পর্যন্ত উঠিবার। সুতরাং সহজেই শহরের সব বাড়ীতে জল সরবরাহ হইবে। পাইপ বাহিয়া জল যত উপরে উঠিবে এবং আধারের তল পর্যন্ত পৌঁছাইবার চেষ্টা করিবে তত জলের চাপ কমিয়া যাইবে। এই কারণে দোতলা বা তিন-তলার কলে জলের যে চাপ দেখা যায় একতলার কলে তদপেক্ষা অনেক অনেক বেশী চাপ থাকে।

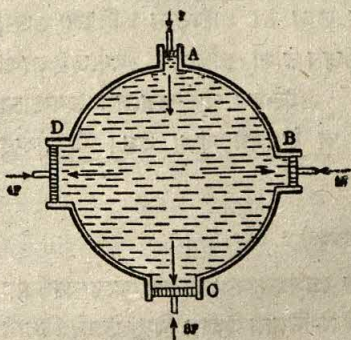
কলিকাতা শহরের উপকন্ঠে টালাতে 300 ফুট উঁচু একটি জলাধার আছে। সেখান হইতে পানীয় জল শহরের বিভিন্ন অঞ্চলে সরবরাহ করা হয়।

5-8. তরলের চাপ সঞ্চালন সম্পর্কিত পাস্কালের সূত্র (Pascal's law for the transmission of liquid pressure) ঃ

কোন আবদ্ধ (confined) **তরলের যে-কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে তরল সেই চাপ অপরিবর্তিত মানে** (undiminished magnitude) **সর্বদিকে সঞ্চালিত করে এবং এই সঞ্চালিত চাপ তরল-সংলগ্ন পাত্রের উপর লম্বভাবে** (normally) **ক্রিয়া করে।** ইহাই পাস্কালের সূত্র।

বলটিকে চাপ দিলে ছিদ্রপথে জল সমভাবে বাহির হইবে

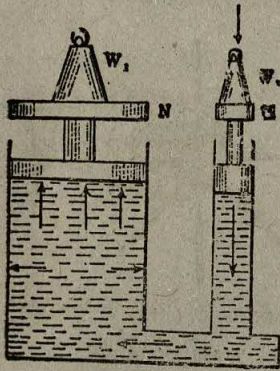
চিত্র নং 34

পরীক্ষা ঃ (ক) একটি রবারের বলে ফুটা করিয়া বলটি জলপূর্ণ করে। ফুটাটি আঙ্গুল দিয়া বন্ধ করিয়া বলের গায়ে পিন্ দিয়া কয়েকটি সূক্ষ্ম ছিদ্র কর। এখন আঙ্গুল দিয়া বলকে চাপ দিলে ছিদ্রপথে জল সমভাবে বাহির হইতে দেখা যাইবে [34 নং চিত্র]। ইহা প্রমাণ করে যে, আঙ্গুল কর্তৃক প্রযুক্ত চাপ জল সর্বাদিকে সঞ্চালিত করিয়াছে।

(খ) জলপূর্ণ একটি আবদ্ধ পাত্রে A, B, C, D চারিটি ছিদ্র আছে। ছিদ্রগুলি জলরোধক (water-tight) পিস্টন দিয়া বন্ধ করা। এখন যদি A পিস্টনে চাপ দেওয়া যায় তবে দেখা যাইবে B, C এবং D পিস্টনগুলি বাহিরের দিকে সরিয়া গেল। ইহা প্রমাণ করে যে, A-পিস্টনে প্রযুক্ত চাপকে জল সর্বদিকে সঞ্চালিত করিল (35 নং চিত্র)।

পাস্কালের সূত্র পরীক্ষা

চিত্র নং 35

এখন মনে কর, A পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 1 একক (unit area) এবং B, C এবং D পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে 2, 3 এবং 4 একক। যদি A-পিস্টনে F বলপ্রয়োগ করা হয় তবে B, C এবং D-কে স্থির রাখিতে হইলে বাহির হইতে বিপরীত দিকে উহাদের উপর 2F, 3F এবং 4F বলপ্রয়োগ করিতে হইবে (ছবি দেখ)। ইহা প্রমাণ করে যে এই পিস্টনগুলির প্রতি এককক্ষেত্রে যে-বল সঞ্চালিত হইয়াছে তাহা A-পিস্টনে প্রযুক্ত বলের সমান। অর্থাৎ জল অপরিবর্তিত মানে চাপ সঞ্চালিত করিল। তাছাড়া

পিস্টনগুলির সরিয়া আসিবার অভিমুখ (direction) লক্ষ্য করিলে বোঝা যাইবে যে সঞ্চালিত চাপ পিস্টনগুলির উপর লম্বভাবে (normally) ক্রিয়া করে।

ঘাত বৃদ্ধির নীতি

চিত্র নং 36

5-9. পাস্কালের সূত্র হইতে ঘাত বৃদ্ধির নীতি (Multiplication of thrust from Pascal's law)

36 নং চিত্রে দেখানো পরস্পর সংযুক্ত (ommunicating) জলপূর্ণ পাত্রের M পাটাতনের উপর একটি W_2 ওজন রাখা হইয়াছে। যদি M পাটাতনের ক্ষেত্রফল A_2 হয় তবে পাটাতনের উপর প্রযুক্ত নিম্নচাপ$=W_2/A_2$; পাস্কালের সূত্রানুযায়ী জল এই চাপকে অপরিবর্তিত মানে চতুর্দিকে সঞ্চালিত করিবে। সুতরাং N-পিস্টনটির পাটাতনের উপর সঞ্চালিত চাপ$=W_2/A_2$. যদি N-পাটাতনের ক্ষেত্রফল A_1 হয় তবে উহার উপর ঘাত$=$চাপ$\times$ক্ষেত্রফল$=\frac{W_2}{A_2}\times A_1=W_2\times\frac{A_1}{A_2}$.

সুতরাং ইহার ফলে N-পিস্টনটি উপরের দিকে উঠিতে থাকিবে। N-পিস্টনটিকে স্থির রাখিতে হইলে উহার উপর যে W_1 ওজন চাপাইতে হইবে তাহা

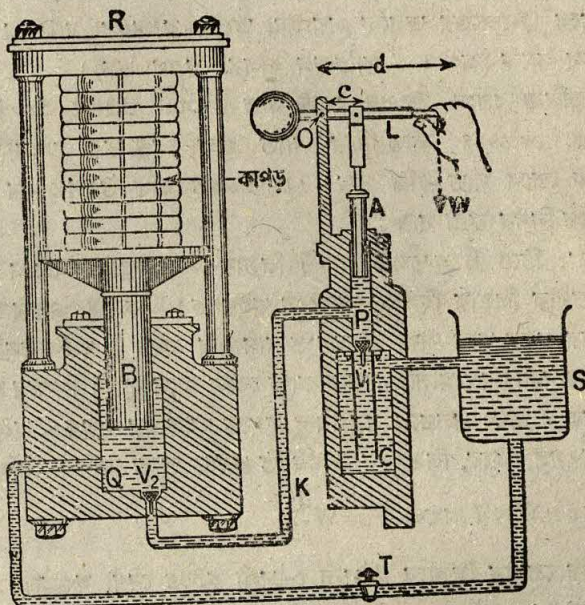
$$W_1=W_2\times\frac{A_1}{A_2}.$$

যদি A_1, A_2-এর চাইতে 100 গুণ হয় তবে M পাটাতনে 1 কিলো ওজন রাখিলে N-পাটাতনের উপর 100 কিলো ওজন রাখা চলিবে। কাজেই দেখা যাইতেছে যে, ঘাত 100 গুণ বাড়িয়া গেল। এইভাবে বদ্ধ-তরলের একস্থানে অল্প বলপ্রয়োগ করিয়া অন্যস্থানে বহুগুণ বল উৎপন্ন করা হয়। ইহাকেই ঘাতবৃদ্ধির নীতি বলে।

5-10. হাইড্রলিক প্রেস (Hydraulic Press):

ঘাত-বৃদ্ধির উপরি-উক্ত নীতি হাইড্রলিক প্রেস নামক একটি যন্ত্রে কার্যকর করা হইয়াছে। ব্রামা নামে একজন ব্রিটিশ ইঞ্জিনিয়ার ইহার কিছু উন্নতিবিধান করেন বলিয়া এই যন্ত্রকে অনেক সময় ব্রামা প্রেস বলা হয়। এই যন্ত্রদ্বারা প্রচণ্ড ঘাতের সৃষ্টি করা যায় এবং তাহা দিয়া কাপড়, পাট, তুলা প্রভৃতির গাঁট চাপিয়া ছোট করা, বীজ হইতে তেল নিষ্কাশন প্রভৃতি কাজ করা হইয়া থাকে।

মেরামতের জন্য ভারী মোটরগাড়ী উঁচুতে তুলিবার জন্য মোটর গ্যারেজে হাইড্রলিক প্রেস ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের ব্যবস্থাকে 'Hydraulic garage lift' বলা হয়।

বিবরণ ঃ 37 নং চিত্রে হাইড্রলিক প্রেসের একটি নক্‌শা দেখানো হইয়াছে। P ও Q দুইটি লোহার তৈরী চোঙ্‌ K-নল দ্বারা সংযুক্ত। P-এর প্রস্থচ্ছেদ ছোট এবং Q-এর প্রস্থচ্ছেদ অনেক বড়। A একটি (solid) লোহার পিস্টন।

হাইড্রলিক প্রেস

চিত্র নং 37

L-হাতল দ্বারা উহাকে P-চোঙের ভিতর যাতায়াত করানো হয়। B আর একটি নিরেট লোহার পিস্টন। ইহার মাথায় একটি পাটাতন আছে। এই পাটাতনের উপর কাগজ, পাট কাপড় ইত্যাদি চাপিবার জন্য রাখা হয়। R একটি শক্ত লোহার পাত—চারিটি স্তম্ভের সাহায্যে দৃঢ়ভাবে আটকানো। V_1 এবং V_2 দুইটি ভাল্‌ভ্ (valve) যাহা দিয়া জলকে শুধু উপরের দিকে চালানো যাইতে পারে। জল নীচু দিকে আসিতে চেষ্টা করিলে ভাল্‌ভ দুইটি শক্তভাবে চোঙের মুখে আটকাইয়া যায়। S একটি জলাধার।

কার্যপ্রণালী ঃ L-হাতল দ্বারা A-পিস্টনকে উপর দিকে উঠাইলে জলের চাপে V_1 ভাল্‌ভটি আল্‌গা হইয়া যায় এবং জলাধার হইতে জল P চোঙ ও K

নল ভর্তি করে। এখন A-পিস্টনকে নীচের দিকে চাপ দিলে V_1-ভাল্ভ বন্ধ হইয়া যায় কিন্তু V_2-ভাল্ভ জলের চাপে খুলিয়া যায় এবং জল Q-চোঙে প্রবেশ করিয়া B-পিস্টনের উপর চাপ দেয়। পাস্কালের সূত্রানুযায়ী A-পিস্টনে প্রদত্ত চাপ অপরিবর্তিত মানে B-পিস্টনে সঞ্চালিত হয় এবং B-পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ A-পিস্টনের যতগুণ, বলও ততগুণ বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ B-পিস্টন প্রচণ্ড বলের সহিত উপরে উঠিতে চেষ্টা করে। ফলে B-এর পাটাতনের উপর রাখা বস্তু R লোহার পাত ও পাটাতনের মধ্যে পড়িয়া প্রচণ্ড চাপ খায়। একদফা কাজ হইয়া গেলে Q-চোঙের জলকে সরাইয়া জলাধারে লইয়া যাইবার জন্য একটি বিকল্প পথ থাকে (অর্থাৎ T প্যাঁচকল খুলিয়া দেওয়া হয়)।

হাইড্রলিক প্রেসে উৎপন্ন মোট ঘাত (Total thrust developed in a hydraulic press)ঃ ঘাতবৃদ্ধির নীতি ছাড়া লিভারের কার্যনীতির দরুনও হাইড্রলিক প্রেসে ঘাত বৃদ্ধি পায়। মোট কত ঘাত উৎপন্ন হয় তাহা নিম্নলিখিতরূপে নির্ণয় করা যায়ঃ

37 নং চিত্রে L হাতলটি একটি লিভার। হাইড্রলিক প্রেসে এই লিভার দ্বিতীয় শ্রেণীর লিভার হিসাবে ব্যবহৃত হইয়াছে। কারণ, একপ্রান্ত আলম্ব O এবং অপর প্রান্তে হাত দ্বারা W বল প্রয়োগ করা হয়। A পিস্টনটি আলম্ব ও W-এর মধ্যবর্তী কিন্তু আলম্বের কাছাকাছি কোন স্থানে যুক্ত। পিস্টন হইতে আলম্ব পর্যন্ত দূরত্ব c এবং বলপ্রয়োগের বিন্দু হইতে আলম্বের দূরত্ব d হইলে, পিস্টনে যে-বল উৎপন্ন হইবে, লিভারের কার্যনীতি হইতে তাহা আমরা লিখিতে পারি,

$F_1 \times c = W \times d$ অথবা $F_1 = W\frac{d}{c}$.

দ্বিতীয় শ্রেণীর লিভারে d-দৈর্ঘ্য c-দৈর্ঘ্য হইতে বেশী হওয়ায় F_1-এর মান W অপেক্ষা বেশী হইবে। সুতরাং এইখানে কিছু ঘাত বৃদ্ধি করা হইল।

এখন, মনে করা যাক, A-পিস্টনের ক্ষেত্রফল α এবং B-পিস্টনের ক্ষেত্রফল β; যদি B পিস্টনে উৎপন্ন মোট ঘাত F_2 হয়, তবে ঘাতবৃদ্ধির নীতি অনুযায়ী

$$F_2 = F_1 \frac{\beta}{\alpha} = W.\frac{d}{c}.\ \frac{\beta}{\alpha}.$$

c অপেক্ষা d বড় এবং α অপেক্ষা β বড় হওয়ায়, F_2-এর মান W অপেক্ষা অনেক বড় হইবে। অর্থাৎ লিভারে অল্প বলপ্রয়োগ করিয়া B-পিস্টনে প্রচণ্ড বল সৃষ্টি করা যাইবে।

হাইড্রলিক প্রেসে যান্ত্রিক সুবিধা (Mechanical advantage)ঃ লিভারের হাতলে W বলপ্রয়োগ করা হইতেছে এবং B পিস্টনে F_2 বল উৎপন্ন হইতেছে।

সুতরাং যান্ত্রিক সুবিধা$=\frac{F_2}{W}=\frac{d}{c}.\ \frac{\beta}{\alpha}$

হাইড্রলিক প্রেসে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র ঃ যদি A পিস্টন P-চোঙের ভিতর S_1 দূরত্ব সরিয়া যায় তবে যে-আয়তনের জল Q চোঙে প্রবেশ করে তাহা $S_1\alpha$. আবার ইহার জন্য B পিস্টন যদি S_2 দূরত্ব সরিয়া যায় তবে সহজেই বোঝা যায় যে $S_1\alpha = S_2\beta$ অথবা $S_1 = \frac{\beta}{\alpha}. S_1$

এখন, A-পিস্টনের উপর কৃত কার্য $= F_1S_1 = F_1 . \frac{\beta}{\alpha}. S_2$

আবার, B-পিস্টন কর্তৃক কৃত কার্য $= F_2S_2 = F_1 . \frac{\beta}{\alpha}. \ S_2 =$ A পিস্টনের উপর কৃত কার্য। ইহা প্রমাণ করে যে হাইড্রলিক প্রেসে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লঙ্ঘিত হয় না।

হাইড্রলিক প্রেস দ্বারা অল্প বলপ্রয়োগে বেশী বল উৎপন্ন করা যায় বটে, কিন্তু শক্তির দিক হইতে আমরা কোনক্রমে লাভবান হই না। যে শক্তি আমরা প্রয়োগ করি ঠিক সেই শক্তি আমরা ফিরিয়া পাই ; অথবা হাইড্রলিক প্রেসে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র রক্ষিত হয়। বরং বাস্তবক্ষেত্রে ঘর্ষণ ইত্যাদির দরুন কিছু শক্তির অপচয় হইয়া প্রাপ্ত শক্তি প্রযুক্ত শক্তি অপেক্ষা কম হয়।

উদাহরণ ঃ (1) একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গফুট এবং বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 20 বর্গফুট। যদি ছোট পিস্টনে 200 পাউণ্ড বলপ্রয়োগ করা হয় তবে বড় পিস্টনে কত বল উৎপন্ন হইবে?

উঃ। আমরা জানি, $W_1 = W_2 \times \frac{A_1}{A_2}$

[W_1 = বড় পিস্টনে উৎপন্ন বল
W_2 = ছোট পিস্টনে প্রদত্ত বল
A_2 = ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ
A_1 = বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ]

এখানে $W_2 = 200$ বর্গফুট $A_1 = 20$ বর্গফুট ; $A_2 = 1$ বর্গফুট ; $W_1 = ?$

$$W_1 = 200 \times \frac{20}{1} = 4000 \text{ পাউণ্ড।}$$

(2) একটি বোতল তেল দ্বারা ভর্তি করিয়া কর্ক আটকানো হইল ; বোতলের গলা এবং তলার ব্যাস যথাক্রমে $\frac{1}{2}$ inch এবং 3 inches ; কর্কের উপর 5 lb. wt. বল প্রয়োগ করিলে তলায় কত ঘাত উৎপন্ন হইবে?

উঃ। গলার প্রস্থচ্ছেদ $= \pi r_1^2 = \pi(\frac{1}{4})^2$ sq. inch. [$r = \frac{1}{4}$ inch]

তলার প্রস্থচ্ছেদ $= \pi r_2^2 = \pi(\frac{3}{2})^2$ sq. inch. [$r_2 = \frac{3}{2}$ inch]

এখন, গলার প্রদত্ত চাপ$=\frac{5}{\pi(\frac{1}{4})^2}=\frac{80}{\pi}$ lb. wt./sq. inch.

সুতরাং তলার প্রতি একক ক্ষেত্রফলে উৎপন্ন বল$=\frac{80}{\pi}$ lb. wt./sq. inch.

$\therefore$ তলার মোট ঘাত$=\frac{80}{\pi}\times\pi(\frac{3}{2})^2=180$ lb. wt.

(3) একটি হাইড্রলিক প্রেসের পিস্টনদ্বয়ের ব্যাস যথাক্রমে 4 ইঞ্চি এবং 40 ইঞ্চি। লিভারের ছোট দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 8 ইঞ্চি এবং ইহা ছোট পিস্টনকে কার্যকর করে। বড় দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 4 ft. এবং ইহার প্রান্তে 75 lb. বলপ্রয়োগ করা হইল। বড় পিস্টনে মোট কত ঘাত হইবে?

উঃ। ধরা যাক্ ছোট পিস্টনে F_1 বল বা ঘাত উৎপন্ন হইল। লিভারের কার্যনীতি হইতে লেখা যায়, $4\times75=F_1\times\frac{8}{12}$ $\therefore$ $F_1=\frac{4\times75\times12}{8}$

$=450$ lb.

এবার, মনে করা যাক্, বড় পিস্টনে F_2 বল উৎপন্ন হইল। ঘাতবৃদ্ধির নীতি হইতে লেখা যায়,

$$F_2=F_1\times\frac{\text{বড় পিস্টনের ক্ষেত্রফল}}{\text{ছোট পিস্টনের ,,}}=F_1\times\frac{\pi(40)^2\times4}{\pi(4)^2\times4}$$

$$=450\times100=45{,}000 \text{ lb.}$$

প্রশ্নাবলী

1. তরলের 'ঘাত' ও 'চাপের' পার্থক্য বুঝাইয়া দাও। কোন বিন্দুতে তরলের চাপের পরিমাণ কত?

2. তরলের মধ্যস্থিত কোন বিন্দুতে চতুর্দিকে যে চাপ আছে তাহা পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

3. একটি লম্বা পাতলা চোঙের প্রায় তলদেশে একটি প্যাঁচকল আঁটিয়া চোঙটি জলপূর্ণ করা হইল এবং একখণ্ড কর্কের উপর রাখিয়া জলে ভাসানো হইল। প্যাঁচকলটি খুলিয়া দিলে কি দেখিবে তাহা ব্যাখ্যা করিয়া বুঝাও।

4. উদ্‌স্থৈতিক কূট কি? পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইবার চেষ্টা কর।

5. 'তরল একই তলে থাকিতে চায়'—ইহার কি পরীক্ষা তোমার জানা আছে? ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ইহার কি প্রয়োগ আছে?

[*M. Exam., 1979*]

6. পাস্কালের সূত্র বল এবং তাহা ব্যাখ্যা করিয়া বুঝাইয়া দাও। এই সূত্র হইতে ঘাত-বৃদ্ধির নীতি কিরূপে পাওয়া যায়? [*M. Exam., 1985, '87*]

7. হাইড্রলিক প্রেস কি? ইহার বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। কি কাজে ইহার প্রয়োগ হয়?

8. পাস্কালের সূত্রটি লিখ। একটি হাইড্রলিক প্রেসের বর্ণনা দাও।

[*M. Exam., 1979, '81, '83*]

9. কলের লেভেল মাটি হইতে যত কম উঁচু করা যায় তত কল হইতে জোরে জল পড়ে কেন?

10. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির সংক্ষেপে উত্তর লেখ :—

(ক) বাঁধ নির্মাণ করিবার সময় বাঁধের তলদেশ মোটা করা হয় কেন?

(খ) সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19·32 হইলে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে সোনার ঘনত্ব কত?

(গ) কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের ঘাত তরলের পরিমাণ বাড়াইলে কি বৃদ্ধি পায়?

(ঘ) হাইড্রলিক প্রেস কি শক্তিবৃদ্ধি করিতে পারে?

● Objective type :

11. (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত উক্তিগুলি ভুল কি নির্ভুল বল :

(a) তরল প্রদত্ত চাপ তরলের গভীরতার উপর নির্ভর করে; তরলের ঘনত্বের উপর নির্ভর করে না।

(b) তরলপূর্ণ পাত্রের তলদেশে যে-ঘাত পড়ে তাহা তরলের মোট পরিমাণের উপর নির্ভর করে; তরলের উচ্চতার উপর নির্ভর করে না।

(c) হাইড্রলিক প্রেসের সাহায্যে ক্ষুদ্র বলকে বৃহৎ বলে বিবর্ধিত করা যায় কিন্তু শক্তির দিক্ হইতে কোন লাভ হয় না।

(d) হাইড্রলিক প্রেসে কোন বল-কে অনেকগুণ বিবর্ধিত করা হয়; কাজেই শক্তির সংরক্ষণ সূত্র এই যন্ত্রের বেলায় প্রযোজ্য নয়।

(e) তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্ম অবলম্বন করিয়া শহরে জল সরবরাহ ব্যবস্থা করা হয়।

12. নিম্নলিখিত বাক্যের শূন্যস্থান পূর্ণ কর :

(a) 100 নিউটন ওজনের একটি ব্লককে 1 sq. cm ক্ষেত্রফলের একটি প্লেটের উপর রাখা হইল। নিউটন/মিটার^2 এককে প্লেটের উপর চাপ —।

(b) প্রতি একক ক্ষেত্রফলে তরল যে — প্রয়োগ করে, তাহাকে তরলের — বলে।

(c) 20 sq. cm ক্ষেত্রফলে 5 dynes/cm^2 চাপ যে ঘাত উৎপন্ন করিবে তাহা —।

(d) স্থির তরলের উপরতল সর্বদা — হয়।

অঙ্ক ঃ

13. সমুদ্রজলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·025. যদি 1 ঘনফুট পরিষ্কার জলের ওজন 62·5 পাউণ্ড হয়, তবে 10 ফুট নীচে সমুদ্রজলের চাপ নির্ণয় কর।

[Ans. 640·625 lb./sq. ft.]

14. একটি আয়তাকার বাক্সের দৈর্ঘ্য 10 ft. প্রস্থ 8 ft. এবং উচ্চতা 6 ft. ঐ বাক্স সম্পূর্ণ জলপূর্ণ করা হইলে বাক্সের তলায় কত ঘাত পড়িবে? 1 c. ft. জলের ওজন 62·5 lb.

[Ans. 30,000 lb.]

15. একটি খালের লক্-গেট 12 ft. চওড়া। উহার একপাশে জলের গভীরতা 16 ft. এবং অন্য পাশে 10 ft. হইলে গেটের উপর মোট ঘাত নির্ণয় কর। [1 c. ft. জলের ওজন 62·5 lb.]

[Ans. 58,500 lb.]

16. একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনের ব্যাস 1 inch এবং বড় পিস্টনের ব্যাস 3 inch। ছোট পিস্টনে 120 lb. বল প্রয়োগ করিলে বড় পিস্টনে কত বল উৎপন্ন হইবে? [পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ গোলাকার]

[Ans. 960 lb.]

17. বই বাঁধাইয়ের দোকানে একটি হাইড্রলিক প্রেস ব্যবহার করা হয়। ইহার ছোট পিস্টনের ব্যাস 1 ইঞ্চি এবং বড়টির 6 ইঞ্চি। ইহার লিভারের বাহুদ্বয়ের অনুপাত 1 : 4; যন্ত্রটির যান্ত্রিক সুবিধা নির্ধারণ কর।

[Ans. 144]

18. একটি জলপূর্ণ বোতলের তলায় প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 30 sq. cm. কর্কের উপর যদি 40 gm. wt. বল প্রযুক্ত হয় তবে বোতলের তলায় কত ঘাত পড়িবে? কর্কের প্রস্থচ্ছেদ 1 sq. cm.

[Ans. 1200 gm. wt.]

19. একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট ও বড় পিস্টন দুইটির ব্যাস যথাক্রমে 1 ইঞ্চি এবং 1 ফুট। ঘাতের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

[Ans. 144] [*M. Exam., 1980*]

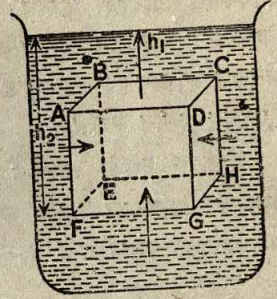
20. কোন জল সরবরাহ ব্যবস্থায় জলাধার ভূমি হইতে 100 ft. উঁচু। ঘর্ষণ ইত্যাদির দরুন জলের চাপহ্রাস যদি 40 ft. হয় তবে ভূমি হইতে 20 ft. উঁচু একটি কলে জলের চাপ কত হইবে?

[Ans. 40 ft. জলস্তম্ভ বা 2500 lb/sq. ft.]

আর্কিমিডিসের নীতি

(Archimedes' principle)

6-1. তরলে নিমজ্জিত কোন বস্তুর উপর মোট ঘাতের পরিমাণ (Calculation of resultant thrust on a body immersed in a liquid) ঃ

A, B, C, D প্রভৃতি একটি ছয়তলবিশিষ্ট ঘনক (cube)। ঘনকটি যে-কোন পাশের দৈর্ঘ্য l, একটি পাত্রে রাখা কোন তরলের মধ্যে ঘনকটি নিমজ্জিত আছে। ঘনকটির উপরিস্থ তল (AC) h_1 গভীরতায় এবং তলদেশ (FH) h_2 গভীরতায় আছে (38 নং চিত্র)। ঘনকটির উপর তরল-প্রদত্ত মোট ঘাতের পরিমাণ নির্ণয় করিতে হইবে।

চিত্র নং 38

ঘনকটির খাড়াতল (vertical side) যেমন AE বা DH যে-ঘাত সহ্য করিতেছে তাহা অনুভূমিক। সুতরাং যে-কোন খাড়া তলের মোট ঘাত বিপরীত খাড়াতলের ঘাতের সমান ও বিপরীত হওয়ায় খাড়াতলগুলি মোট কোন ঘাত গ্রহণ করে না।

কিন্তু উপরিস্থ তল AC পৃষ্ঠের যে-কোন বিন্দুর উপর জলের নিম্নচাপ পড়িতেছে এবং উহার পরিমাণ$=h_1.d.g$ ($d=$তরলের ঘনত্ব)।

সুতরাং, সমস্ত তলে মোট নিম্নমুখী ঘাত=চাপ×তলের ক্ষেত্রফল

$$=h_1.dg\times l^2$$
$$=l^2h_1d.g.$$

FH তলে জলের ঊর্ধ্বচাপ পড়িতেছে। আমরা জানি যে, কোন অনুভূমিক রেখায় জলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমান।

সুতরাং FH তলে যে-কোন বিন্দুতে জলের ঊর্ধ্বচাপ$=h_2d.g.$

অতএব FH তলের মোট ঊর্ধ্বমুখী ঘাত=চাপ×তলের ক্ষেত্রফল।

$$=h_2.d.g.\times l^2=l^2h_2.d.g.$$

যেহেতু $h_2>h_1$ কাজেই FH তলের ঊর্ধ্বমুখী ঘাত AC তলের নিম্নমুখী ঘাতের চাইতে বেশী।

অর্থাৎ ঘনকটির উপর মোট ঊর্ধ্বমুখী ঘাত$=l^2h_2\times d.g-l^2h_1\times d.g.$

$$=l^2d.g.(h_2-h_1)$$
$$=l^3d.g\quad [\because\ h_2-h_1=l]$$

কিন্তু l^3 ঘনকটির আয়তন এবং $l^3 \times d$ ঘনকটির সম-আয়তন তরলের ভর।

সুতরাং, $l^3 d.g.$=ঘনকটির সম-আয়তন তরলের ওজন।

দেখা গেল যে ঘনকটি যখন তরলে পূর্ণ নিমজ্জিত থাকে তখন ঘনকটি মোট উর্ধ্বমুখী ঘাত অনুভব করে এবং ঘাতের পরিমাণ হইতেছে সম-আয়তন তরলের ওজন।

উপরিউক্ত তথ্য শুধু যে নির্দিষ্ট আকারের ঘনকের বেলাতে প্রযোজ্য তাহা নহে ; যে কোন আকারের বস্তুর বেলাতে এবং বস্তুটি পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত থাকিলেও প্রযোজ্য হইবে। অর্থাৎ, সাধারণভাবে আমরা বলিতে পারি যে, কোন বস্তু আংশিক বা পরিপূর্ণভাবে তরলে নিমজ্জিত থাকিলে উর্ধ্বমুখী ঘাত অনুভব করিবে। এই ঘাত বস্তুটি যে আয়তনের তরল স্থানচ্যুত করিবে উহার ওজনের সমান হইবে।

এই উর্ধ্বমুখী ঘাতকে **প্লবতা** (buoyancy) বলে। এই ঘাত স্থানচ্যুত তরলের ভারকেন্দ্র ক্রিয়া করে এবং ঐ বিন্দুকে **প্লবতা-কেন্দ্র** (centre of buyoancy) বলে।

6-2. তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস (Apparent loss of weight of a body immersed in a liquid) :

আমরা দেখিলাম কোন বস্তুকে তরলে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত করিলে বস্তু উর্ধ্বমুখী প্লবতা অনুভব করে যাহা স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান।

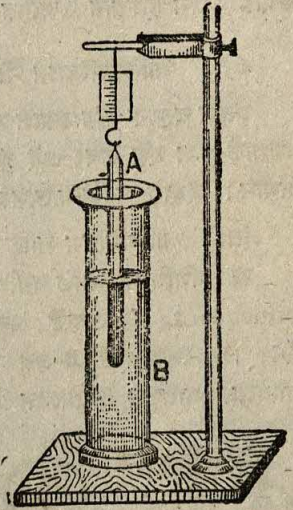
এখন, বস্তুর নিজস্ব ওজন লম্বভাবে নিম্নমুখী ক্রিয়া করে এবং প্লবতা লম্বভাবে উর্ধ্বমুখী ক্রিয়া করে। ফলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস হয়। ওজনের এই আপাত-হ্রাস বস্তু যতটা তরল অপসারিত করে তাহার ওজনের সমান। যদি বস্তুর নিজস্ব ওজন হয় W_1 এবং অপসারিত তরলের ওজন হয় W_2 তবে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর আপাত-ওজন $= W_1 - W_2$.

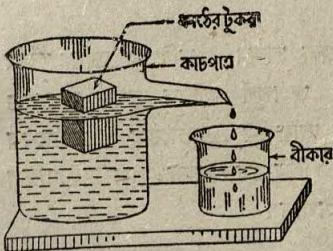
বস্তুর ওজনের এই আপাত-হ্রাস তোমরা অনেকেই হয়তো লক্ষ্য করিয়াছ। ভারী কলসী বা ভারী বস্তু যাহা নাড়াইতে বেশ কষ্ট হয়, জলের ভিতর তাহা অনায়াসে নাড়ানো যায়, ইহা তোমরা হয়ত অনুভব করিয়াছ। কুয়া হইতে জল তুলিবার সময় জলপূর্ণ বালতি যতক্ষণ জলের ভিতর থাকে ততক্ষণ সহজে টানিয়া তোলা যায়; কিন্তু জলের উপরে উঠিলে বেশ ভারী বোধ হয়।

6-3. বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস দেখাইবার পরীক্ষা (Experiment to demonstrate the apparent loss of weight of a body) :

বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস
চিত্র নং 39

পরীক্ষা : একটি নিরেট ধাতব চোঙ্ A স্প্রীং-তুলার হুক হইতে ঝুলাও। স্প্রীং-তুলা যে পাঠ দিবে তাহাই চোঙের বায়ুতে ওজন। একটি বড় লম্বা পাত্রে (B) জল রাখিয়া চোঙ্টি আস্তে আস্তে জলের ভিতরে ডুবাও (39 নং চিত্র)। দেখা যাইবে স্প্রীং-তুলার পাঠ ক্রমশ কমিতেছে। চোঙ্টি যখন পূর্ণ নিমজ্জিত হইবে তখন ওজনের হ্রাস সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে।

চোঙ্টি জলের বাহিরে আনিলে ইহা পূর্বের ওজন ফিরিয়া পাইবে। অতএব চোঙ্টি জলে ডুবিয়া থাকা অবস্থায় যে ওজন হ্রাস হইয়াছিল তাহা আপাত-হ্রাস।

6-4. তরলে ভাসমান বস্তু নিজ ওজনের সমান ওজনবিশিষ্ট তরল অপসারণ করে (A floating body displaces liquid whose weight is same as the weight of the body) :

এক টুকরা কাঠ লইয়া তুলাযন্ত্রের সাহায্যে ওজন নির্ণয় কর। 40 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ একটি নির্গম নল (exit tube)-যুক্ত কাচপাত্র লও এবং উহাতে জল ঢাল যেন জলের তল নির্গমন নলের মুখ বরাবর থাকে। একটু বেশী জল ঢালা হইলে নল দিয়া অতিরিক্ত জল বাহির হইয়া যাইবে। এইবার একটি ওজন করা খালি কাচের বীকার ঐ নলের নীচে রাখ যাহতে নল দিয়া জল পড়িলে জল ঐ বীকারে জমা হইতে পারে। এখন আস্তে আস্তে কাঠের টুকরাটিকে কাচপাত্রের জলে ভাসাও। খানিকটা জল নির্গমন নল বাহিয়া বীকারে পড়িবে। যখন জল পড়া বন্ধ হইবে তখন জলসহ বীকার ওজন কর। ইহা হইতে জলের ওজন পাওয়া যাইবে। দেখিবে যে জলের ওজন কাঠের টুকরার ওজনের

ভাসমান বস্তু নিজ ওজনের সমান ওজন-বিশিষ্ট তরল অপসারণ করে
চিত্র নং 40

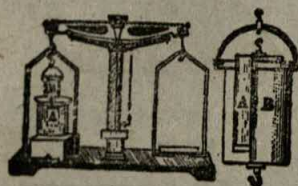
সমান হইল। সুতরাং ভাসমান অবস্থায় কাঠের টুকরা যে জল অপসারণ করে উহার ওজন টুকরার ওজনের সমান।

6-5. আর্কিমিডিসের নীতি (Archimedes' principle) :

কোন বস্তুকে স্থির তরলে আংশিক অথবা পূর্ণ নিমজ্জিত করিলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস হয় এবং এই হ্রাস বস্তু যে তরল স্থানচ্যুত করে তাহার ওজনের সমান। ইহাই আর্কিমিডিসের নীতি।

[দ্রঃ আর্কিমিডিস নীতি গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য।]

আর্কিমিডিসের নীতি পরীক্ষা (Experimental verification of Archimedes' principle) : B একটি একমুখ খোলা ফাঁপা চোঙ্ এবং A একটি নিরেট চোঙ্। A-চোঙ্টি B-এর মধ্যে আঁটিয়া বসিতে পারে অর্থাৎ A-চোঙের বাহিরের আয়তন B-চোঙের ভিতরের আয়তনের সমান।

আর্কিমিডিসের নীতির সত্যতা পরীক্ষা
চিত্র নং 41

তুলাদণ্ডের একপ্রান্তে B-কে ঝুলাও এবং B-এর তলার আংটার সঙ্গে A-কে ঝুলাও। এই অবস্থায় অন্য তুলাপাত্রে প্রয়োজনীয় বাটখারা রাখিয়া তুলাদণ্ড অনুভূমিক কর। এখন একটি পাত্রে রাখা জলের ভিতর A-চোঙকে পরিপূর্ণ ডুবাও (41 নং চিত্র)। দেখিও যেন জলপূর্ণ পাত্রটি তুলাপাত্রকে স্পর্শ না করে। A-চোঙকে জলে ডুবাইলে তুলাদণ্ডটি আর অনুভূমিক থাকিবে না। ডানদিকের পাল্লা নীচের দিকে নামিবে। ইহা প্রমাণ করে যে, নিমজ্জিত অবস্থায় A-চোঙটির ওজনের হ্রাস হইল।

এখন ফাঁপা চোঙ্ B-তে আস্তে আস্তে জল ঢাল। দেখিবে ডানদিকের পাল্লা আস্তে আস্তে উঠিতেছে। যখন B-চোঙ জলপূর্ণ হইবে তখন তুলাদণ্ড আবার অনুভূমিক হইবে। B-এর অভ্যন্তরীণ আয়তন A-চোঙের আয়তনের সমান বলিয়া ইহা প্রমাণ করে যে, A-চোঙ্টির যে ওজন হ্রাস হইয়াছিল তাহা A-চোঙের সম-আয়তন জলের ওজনের সমান।

6-6. আর্কিমিডিসের নীতির প্রয়োগ (Application of Archmedes' principle) :

আর্কিমিডিস নীতি প্রয়োগ করিয়া আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি নির্ণয় করিতে পারি।

(ক) অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন।

(খ) বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব।

(গ) বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity)।

6-7. অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন নির্ণয়ঃ

ধরা যাউক, বস্তুটির বায়ুতে ওজন $=W_1$, এখন বস্তুকে তুলাদণ্ডের বামপ্রান্ত হইতে সূতা দিয়া ঝুলাইয়া একটি জলপূর্ণ পাত্রের জলের ভিতর সম্পূর্ণ নিমজ্জিত কর। এই অবস্থায় বস্তুর ওজন বাহির কর। ধর, এই ওজন W_2.

আর্কিমিডিসের নীতি হইতে জানি,

$W_1-W_2=$ জলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস

$=$ বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন।

যদি সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ওজনগুলি লওয়া হয় তবে সম-আয়তন জলের ওজন $=(W_1-W_2)$ গ্রাম। জলের ঘনত্ব 1 গ্রাম প্রতি ঘন সে. মি.। সুতরাং (W_1-W_2) গ্রাম জলের আয়তন $=(W_1-W_2)$ ঘন সে. মি.। যেহেতু বস্তু সম-আয়তন জল অপসারিত করে, সেইহেতু বস্তুর আয়তন $=(W_1-W_2)$ ঘন সে. মি.।

যদি এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ওজনগুলি লওয়া হয়, তবে সম-আয়তন জলের ওজন $=(W_1-W_2)$ পাউণ্ড।

জলের ঘনত্ব 62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘ. ফুট। সুতরাং (W_1-W_2) পাউণ্ড জলের আয়তন $=\frac{W_1-W_2}{62\cdot5}$ ঘ. ফু.।

যেহেতু বস্তু সম-আয়তন জল অপসারিত করে, সেইহেতু এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর আয়তন $=\frac{W_1-W_2}{62\cdot5}$ ঘ. ফু.।

6-8. বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব নির্ণয়ঃ

বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব $=\frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{বস্তুর আয়তন}}$

বস্তুর আয়তন পূর্বোক্ত উপায়ে নির্ণয় করা যাইবে। সুতরাং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব $=\frac{W_1}{W_1-W_2}$ গ্রাম প্রতি ঘ. সে. মি.।

তেমনি এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর উপাদানের ঘনত্ব $=\frac{W_1\times 62\cdot5}{W_1-W_2}$ পাউণ্ড প্রতি ঘ. ফু.।

এই পদ্ধতি দ্বারা আমরা কোন ধাতুর বিশুদ্ধতা নির্ধারণ করিতে পারি। যেমন, ধরা যাক, একখণ্ড রূপা পরীক্ষা করিয়া দেখিতে হইবে যে উহা সম্পূর্ণ রূপার তৈয়ারী কিংবা উহাতে কোন খাদ মিশানো আছে কি-না। পূর্বোক্ত পদ্ধতিতে রূপার খণ্ডটির ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে এবং ঐ নির্ণীত ফল যদি খাঁটি রূপার ঘনত্ব অর্থাৎ 10·5 গ্রাম/সি. সি.-এর সমান হয় তবে বুঝিতে হইবে যে রৌপ্যখণ্ডটি খাঁটি। আর যদি নির্ণীত ফল অন্যরকম হয়, তবে বুঝিতে হইবে যে উহাতে খাদ মিশানো আছে।

উদাহরণ ঃ 588 গ্রাম ভরের এবং 100 সি.সি. আয়তনের একখণ্ড সঙ্কর ধাতু লোহা এবং অ্যালুমিনিয়ামের মিশ্রণে তৈরী। লোহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 8 এবং অ্যালুমিনিয়ামের 2·7 হইলে, ঐ টুকরার (i) আয়তন এবং (ii) উপাদান ধাতুগুলির ভরের অনুপাত নির্ণয় কর।

উঃ। ধর, লোহার অংশের আয়তন $=V$ সি.সি. ; অতএব অ্যালুমিনিয়াম অংশের আয়তন $=(100-V)$ সি.সি.। এখন, লোহার অংশের ভর $=8V$ গ্রাম এবং অ্যালুমিনিয়াম অংশের ভর $=(100-V)\times 2{\cdot}7$ গ্রাম।

$\therefore\quad 8V+(100-V)\times 2{\cdot}7=588$

অথবা, $8V-2{\cdot}7V=588-270$

,, $\quad 5{\cdot}3V=318 \qquad \therefore\ V=60$ সি.সি.

কাজেই আয়তনের অনুপাত $=\frac{60}{40}=\frac{3}{2}$

আবার, লোহা অংশের ভর $=8\times V=8\times 60$ গ্রাম এবং অ্যালুমিনিয়াম অংশের ভর $=40\times 2{\cdot}7$ গ্রাম ; অতএব, ভরের অনুপাত $=\frac{8\times 60}{2{\cdot}7\times 40}=\frac{40}{9}$.

6-9. আর্কিমিডিসের নীতি প্রয়োগে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ঃ

(ক) আপেক্ষিক গুরুত্ব ঃ সম-আয়তনের বিভিন্ন দ্রব্য বিভিন্ন রকমের ভারী। যেমন, এক ঘন সেন্টিমিটার সোনা এক ঘন সেন্টিমিটার তামার চাইতে ভারী। জলকে নির্দিষ্ট মান (standard) ধরিয়া সম-আয়তন জলের চাইতে কোন্ বস্তু কতটা ভারী তাহা দ্বারা পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বুঝানো হয়। যথা, সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19·32—ইহার অর্থ এই যে, একখণ্ড সোনা সম-আয়তন জলের চাইতে 19·32 গুণ ভারী।

কাজেই 'S' যদি কোন দ্রব্যের (কঠিন বা তরল) আপেক্ষিক রুত্ব ধরিয়া লওয়া যায় তবে, $S=\frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}$

[দ্রষ্টব্য ঃ জলের ঘনত্ব তাপমাত্রার সহিত পরিবর্তন করে। দেখা গিয়াছে যে 4° সেলসিয়াস তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী। আপেক্ষিক গুরুত্ব বিচারে সম-আয়তন জলের 4°C তাপমাত্রায় যে-ওজন তাহাই ধরা হয়। কিন্তু খুব সক্ষ্ম মাপের প্রয়োজন না হইলে তাপমাত্রার উল্লেখের বিশেষ প্রয়োজন থাকে না।]

আপেক্ষিক গুরুত্বের এই সংজ্ঞায় বস্তুটির যে-কোন আয়তন লইলেই চলে। ধরা যাউক, বস্তুটির একক (unit) আয়তন লওয়া হইল। অতএব,

$$S=\frac{\text{একক আয়তন বস্তুর ওজন}}{\text{একক আয়তন জলের ওজন}}$$

কিন্তু একক আয়তনের ওজনকে পদার্থের ঘনত্ব বলে। সুতরাং,

$$S=\frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$$

পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব দুইটি ঘনত্বের ভাগফল হওয়ায়, **আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি সংখ্যামাত্র।** ইহার কোন একক (unit) নাই। কখন কখন ইহাকে আপেক্ষিক ঘনত্ব (relative density) বলা হয়।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব 1 গ্রাম প্রতি ঘ. সে. মি. ; কাজেই এই পদ্ধতিতে $S=\frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{1}$; অর্থাৎ, এই পদ্ধতিতে পদার্থের ঘনত্বের ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মান একই। কিন্তু এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব 62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘ.ফু.।

$$\text{সুতরাং } S=\frac{\text{এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে পদার্থের ঘনত্ব}}{62 \cdot 5}$$

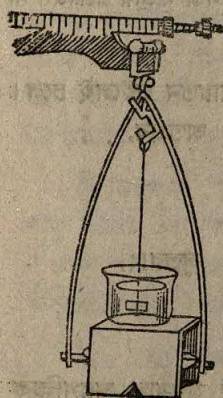
অথবা, $S \times 62 \cdot 5=$পদার্থের ঘনত্ব [এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে]।

(খ) আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের তফাত ঃ

(1) আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি সংখ্যামাত্র এবং ইহার কোন একক নাই, কিন্তু ঘনত্ব তাহা নহে। ঘনত্বের নির্দিষ্ট একক আছে।

(2) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্বের মান ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মান সমান। যেমন, সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19 হইলে সোনার ঘনত্ব 19 গ্রাম প্রতি ঘ. সে. মি.।

(3) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্বের মান এবং আপেক্ষিক গুরুত্বের মান সমান নয়। আপেক্ষিক গুরুত্বকে 62·5 দিয়া গুণ করিলে ঘনত্ব পাওয়া যায়।

যেমন সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19, কিন্তু এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে সোনার ঘনত্ব $=19\times62'5$ পাউণ্ড প্রতি ঘ. ফু.।

চিত্র নং 42

(গ) উদস্থৈতিক তুলাদ্বারা জল অপেক্ষা ভারী এবং জলে দ্রবণীয় নয়—এমন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ঃ

সুবিধামত একখণ্ড বস্তু লও এবং তুলাদ্বারা বস্তুর বায়ুতে ওজন বাহির কর। ধর, এই ওজন W_1 ; পরে চিত্রে (42 নং চিত্রে) যেমন দেখানো হইয়াছে তেমনি জলে ডুবাইয়া বস্তুর ওজন নির্ণয় কর। ধর, এই ওজন W_2

আর্কিমিডিসের সূত্রানুযায়ী,

$W_1-W_2=$অপসারিত সম-আয়তন জলের ওজন।

সুতরাং, দ্রব্যটির আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$S=\frac{\text{দ্রব্যের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}=\frac{W_1}{W_1-W_2}$$

(ঘ) উদস্থৈতিক তুলার সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ঃ

ধর, আমরা এমন একটি কঠিন বস্তু নির্বাচন করিলাম যাহা জলে এবং পরীক্ষাধীন তরলে দ্রাব্য নয় এবং উহাদের অপেক্ষা ভারী। যেমন, কেরোসিন বা তুঁতের দ্রবণের বেলায় কঠিন বস্তু হিসাবে কাচখণ্ড নির্বাচন করা যায়।

কঠিন বস্তুকে বায়ুতে রাখিয়া ওজন কর এবং ধর এই ওজন$=W_1$. এইবার কঠিন বস্তুকে তুলাদণ্ড হইতে ঝুলাইয়া একবার জলের মধ্যে এবং আর একবার তরলের মধ্যে নিমজ্জিত রাখিয়া ওজন লও [চিত্র 42]। ধর, এই ওজনগুলি যথাক্রমে W_2 এবং W_3 ; তাহা হইলে লেখা যায়,

কঠিন বস্তুর বায়ুতে ওজন $=W_1$

" " জলে " $=W_2$

" " তরলে " $=W_3$

অতএব, অপসারিত জলের ওজন $=W_1-W_2$

এবং " তরলের " $=W_1-W_3$

যেহেতু, একই কঠিন বস্তুকে জলে এবং তরলে নিমজ্জিত রাখা হইয়াছে সেইহেতু অপসারিত জল ও তরলের আয়তন সমান।

অতএব, তরলের আঃ গুঃ $S=\frac{\text{তরলের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}}=\frac{W_1-W_3}{W_1-W_2}$

উদাহরণ ঃ (1) একটি কঠিন বস্তুর বায়ুতে ওজন 20·52 gm এবং জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 12·48 gm ; বস্তুটির আয়তন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ধারণ কর।

উঃ। বস্তু কর্তৃক অপসারিত জলের ওজন=20·52—12·48=8·04 gm ; অপসারিত জলের আয়তন$=\frac{8 \cdot 04}{1}=8 \cdot 04$ cc ; অতএব, কঠিন বস্তুর আয়তন 8·04 cc এবং আঃ গুঃ $S=\frac{\text{ওজন}}{\text{আয়তন}}=\frac{20 \cdot 52}{8 \cdot 0}=2 \cdot 55$

(2) রূপার একটি টুকরার বায়ুতে ওজন 25 gm ; অ্যালকোহলে ওজন 22·4 gm এবং জলে ওজন 22 gm. অ্যালকোহলের আঃ গুঃ নির্ণয় কর।

উঃ। 6·9 (ঘ) অনুচ্ছেদ দেখ। আমরা লিখিতে পারি, $W_1=25$ gm , $W_2=22$ gm এবং $W_3=22 \cdot 4$ gm.

$$\therefore \; S=\frac{W_1-W_3}{W_1-W_2}=\frac{25-22 \cdot 4}{25-22}=\frac{2 \cdot 6}{3 \cdot 0}=0 \cdot 86 \text{ (প্রায়)}$$

(3) একটি বস্তুর বায়ুতে ওজন 1500 gm এবং ঘনত্ব 2·5 gm/c.c. ; 1·5gm/c.c. ঘনত্বের তরলে নিমজ্জিত রাখিলে উহার আপাত ওজন কত হইবে ?

উঃ। বস্তুর আয়তন $=\frac{\text{ওজন}}{\text{ঘনত্ব}}=\frac{1500}{2 \cdot 5}=600$ c.c.

$\therefore$ অপসারিত তরলের আয়তন=600 cc ; ঐ তরলের ওজন=আয়তন × ঘনত্ব=600 × 1·5=900 gm. অতএব, ঐ তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর আপাত ওজন=প্রকৃত ওজন−অপসারিত তরলের ওজন=1500−900= 600 gm.

6-10. সাধারণ হাইড্রোমিটার (Common hydrometer) ঃ

এই যন্ত্র দ্বারা কোন তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব সরাসরি মাপা যায়। 43নং চিত্রে এই ধরনের একটি হাইড্রোমিটার দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি কাচের ফাঁপা চোঙ। ইহার এক প্রান্তে পারদপূর্ণ একটি কাচের কুণ্ড (bulb) ও অপর প্রান্তে একটি সর্বত্র সমব্যাসযুক্ত কাচের লম্বা দণ্ড আছে। যন্ত্রটির ওজন এমন করা হয় যে ইহা তরলে খাড়াভাবে ভাসিতে পারে। লম্বা দণ্ডের গায়ে একটি স্কেল অঙ্কিত থাকে। এই স্কেল হইতে সরাসরি তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যায়। যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে উহার ভিতর যন্ত্রটিকে ছাড়িয়া দিলে যন্ত্রটি যে-দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া ভাসিবে তাহাই তরলের আপেক্ষিক

গুরুত্ব। চিত্রে যে যন্ত্র দেখানো হইয়াছে উহার ওজন এমন করা হইয়াছে যে জলে ডুবাইলে সরু নলটির মাথা পর্যন্ত ডুবিয়া যাইবে। জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·0 বলিয়া ঐ স্থানে 1·0 দাগ কাটা আছে। অন্য কোন ভারী তরলে ডুবাইলে নলটির কিছু অংশ তরলের বাহিরে থাকিবে ও তরল যে দাগ স্পর্শ করিবে তাহাই হইবে ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব। চিত্রে প্রদর্শিত যন্ত্র সর্বাপেক্ষা ঘন যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিতে পারিবে তাহা 2·0-এর সমান কারণ, ঐ তরলে ডুবাইলে নলটির শেষ দাগ পর্যন্ত ডুবিবে। আবার, জল অপেক্ষা লঘু তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঐ যন্ত্র দিয়া মাপা যাইবে না—যন্ত্রের ওজন আলাদা করিতে হইবে। এইজন্য একটি নির্দিষ্ট সাধারণ হাইড্রোমিটার দ্বারা লঘু ও ভারী সবরকম তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা সম্ভব নয়। দুধে জল মিশানো থাকিলে তাহা এই যন্ত্রে সহজেই বোঝা যায়। কারণ, জলমিশ্রিত দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব খাঁটি দুধের চাইতে কম। সুতরাং জলমিশ্রিত দুধে যন্ত্রটি বেশী ডুবিয়া যাইবে। খাঁটি দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা থাকিলে দুধে জল মিশানো আছে কি-না তাহা সহজেই ধরা পড়িবে। এই উদ্দেশ্যে বাজারে Lactometer নামে যে যন্ত্র বিক্রয় হয় তাহা এই সাধারণ হাইড্রোমিটার। ইহা ছাড়া, অ্যালকোহল, অ্যাসিড প্রভৃতি তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিবার জন্যও এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।

সাধারণ হাইড্রোমিটার
চিত্র নং 43

উদাহরণ ঃ একটি সাধারণ হাইড্রোমিটারের দণ্ড নিম্নাভিমুখী 0 হইতে 20 পর্যন্ত দাগ কাটা আছে। যখন ইহা জলে ভাসে তখন 0 (শূন্য) পাঠ দেয় কিন্তু যখন 1·4 gm/c.c. ঘনত্বের কোন তরলে ভাসে তখন 20 পাঠ দেয়। যে-তরলে ভাসিলে 10 পাঠ পাওয়া যায় সেই তরলের ঘনত্ব কত ?

উঃ। ধর, ঐ তরলের ঘনত্ব$=d$. মনে কর, শূন্য দাগ পর্যন্ত হাইড্রোমিটারের আয়তন$=V$; তাহা হইলে জলে ভাসিবার সময় অপসারিত জলের আয়তন$=V$ এবং ঐ জলের ওজন=হাইড্রোমিটারের ওজন$=V$. যদি দণ্ডের প্রতি দাগের আয়তন v হয়, তবে প্রথম তরলের বেলায় লেখা যায়,

হাইড্রোমিটারের ওজন=অপসারিত তরলের ওজন

অথবা $$V=(V-20.v)\times 1{\cdot}4=1{\cdot}4V-28v$$

,, $$0{\cdot}4V=28v \quad .. \text{(i)}$$

অজ্ঞাত তরলের ক্ষেত্রে,

হাইড্রোমিটারের ওজন=অপসারিত তরলের ওজন

অথবা $$V=(V-10.v)d$$

,, $$V(d-1)=10.v.d \quad .. \quad (ii)$$

(ii) নং সমীকরণকে (i) নং দ্বারা ভাগ করিলে, পাই,

$$\frac{V(d-1)}{0{\cdot}4V}=\frac{10.v.d}{28.v}$$

$$\text{or,} \quad \frac{d-1}{0{\cdot}4}=\frac{5d}{14} \quad \therefore \quad d=1{\cdot}16 \text{ gm/c.c.}$$

6-11. বস্তুর ভাসন ও নিমজ্জন (Floatation and immersion of a body) ঃ

আমরা জানি যে, কোন বস্তুকে তরলে নিমজ্জিত করিলে বস্তু প্লবতা অনুভব করে। এই প্লবতা বস্তু কর্তৃক স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান এবং ইহা প্লবতা-কেন্দ্র দিয়া ঊর্ধ্বমুখী ক্রিয়া করে। বস্তুর নিজস্ব ওজন বস্তুর ভারকেন্দ্র দিয়া নিম্নমুখী ক্রিয়া করে। সুতরাং বস্তুকে তরলে নিমজ্জিত করিলে ইহার উপর এই দুইটি বল একসঙ্গে ক্রিয়া করে। যদি বস্তুর নিজস্ব ওজন হয় W_1 এবং প্লবতা W_2, তবে বস্তুর ভাসন ও নিমজ্জন সম্পর্কে নিম্নলিখিত তিনটি অবস্থার উদ্ভব হইতে পারে ঃ

(1) যদি $W_1>W_2$ হয়, অর্থাৎ, বস্তুর ওজন প্লবতা অপেক্ষা বেশী। এক্ষেত্রে বস্তুর ওজন বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের চাইতে বেশী হওয়ায় বস্তুটি নীচের দিকে যাইবে। অর্থাৎ, তরলে ডুবিয়া যাইবে। সাধারণত বস্তুর ঘনত্ব তরলের ঘনত্বের বেশী হইলে বস্তু তরলে ডুবিয়া যায়। যেমন, একখণ্ড লোহা বা পাথর জলে ফেলিয়া দিলে জলে ডুবিয়া যায়।

(2) যদি $W_1=W_2$ হয়, অর্থাৎ বস্তুর ওজন প্লবতার সমান হয় তবে ঐক্ষেত্রে বস্তুর ওজন বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের সমান হওয়ায় বস্তুটি তরলের ভিতর যে-কোন স্থানে স্থির হইয়া ভাসিতে থাকিবে। সম-আয়তন জল ও অ্যালকোহল মিশ্রিত করিয়া তাহার ভিতর এক ফোঁটা অলিভ তেল ফেলিয়া দিলে ফোঁটাটি মিশ্রণের ভিতর যে-কোন স্থানে থাকিবে। এস্থলে মিশ্রণের ঘনত্ব অলিভ তেলের ঘনত্বের সমান বলিয়া এরূপ হয়।

(3) যদি $W_1<W_2$ হয়, অর্থাৎ বস্তুর ওজন প্লবতা অপেক্ষা কম হয় তবে বস্তুর ওজন বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের কম বলিয়া উহা ঊর্ধ্বমুখী বল অনুভব করিবে। তাহার ফলে বস্তুটি ভাসিয়া উঠিবে। তরলের ঘনত্ব

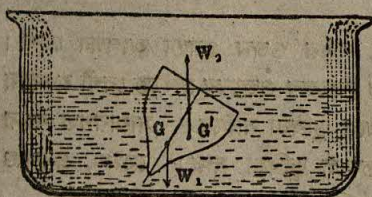
বস্তুর ঘনত্বের বেশী হইলে এইরূপ অবস্থার উদ্ভব হয়। যেমন, একটুক্‌রা কাঠ জলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা ভাসিয়া উঠে।

6-12. সাম্যাবস্থায় ভাসনের শর্ত (Condition of equilibrium of floating bodies) ঃ

আমরা দেখিলাম যে একটুক্‌রা কাঠ জলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা ভাসিয়া উঠিবার চেষ্টা করে, কারণ, টুক্‌রাটির ওজন সম-আয়তন জলের ওজনের চাইতে কম। টুক্‌রাটি যত জলের বাহিরে আসিতে থাকে তত অপসারিত জলের পরিমাণ কমিতে থাকে এবং উর্ধ্বচাপ কমিতে থাকে। টুক্‌রাটি যখন স্থির হইয়া ভাসিবে তখন ইহার কিয়দংশ জলে ডুবানো থাকিবে এবং বাকী অংশ জলের বাহিরে থাকিবে যাহাতে নিমজ্জিত অংশ যে-জল অপসারিত করিবে তাহার ওজন টুক্‌রার ওজনের সমান হইবে। অর্থাৎ, বস্তু স্থির হইয়া ভাসিতে গেলে নিম্নোক্ত দুইটি শর্ত পূরণ করিতে হইবে ঃ

(1) **বস্তুর এমন অংশ তরলে নিমজ্জিত থাকিবে যাহাতে অপসারিত তরলের ওজন বস্তুর ওজনের সমান হয়।**

(2) **বস্তুর ভারকেন্দ্র ও প্লবতা-কেন্দ্র একই লম্ব** (vertical) **রেখায় থাকিবে।**

দ্বিতীয় শর্তটি বুঝাইয়া বলা হউক। ধর, একটি বস্তুর ভারকেন্দ্র G অর্থাৎ G বিন্দু দিয়া বস্তুর ওজন W_1 নিম্নমুখী ক্রিয়া করিতেছে (44 নং চিত্র) এবং G′ প্লবতাকেন্দ্র অর্থাৎ G′ বিন্দু দিয়া অপসারিত জলের ওজন W_2 উর্ধ্বাভিমুখী ক্রিয়া করিতেছে। ভাসিবার প্রথম শর্তানুযায়ী $W_2=W_1$ কিন্তু চিত্র হইতে স্পষ্টই বোঝা যায় যে বিপরীতমুখী সমান দুইটি বল একই লম্ব-রেখায় ক্রিয়া না করিলে বস্তুটি সাম্য অবস্থায় থাকিতে পারে না। অর্থাৎ G এবং G′ একই লম্বরেখায় থাকা অপরিহার্য।

ভারকেন্দ্র ও প্লবতা কেন্দ্র এক লম্বরেখায় না থাকিলে বস্তু স্থির হইয়া ভাসিবে না.

চিত্র নং 44

6-13. ভাসনের কয়েকটি উদাহরণ ঃ

(1) **বরফ জলে ভাসে কেন ?**

সাম্যাবস্থায় ভাসনের শর্ত আলোচনার সময় আমরা দেখিয়াছি যে ভাসিতে গেলে বস্তুর কিয়দংশ তরলে নিমজ্জিত থাকে এবং কিয়দংশ তরলের বাইরে

থাকে। কারণ, বস্তুর ওজন সম-আয়তন তরলের ওজনের চাইতে কম। অর্থাৎ ভাসমান বস্তুকে সম-আয়তন তরল অপেক্ষা হাল্‌কা হইতে হইবে। জল জমিয়া বরফে পরিণত হইলে সেই বরফ জলে ভাসিতে দেখা যায়। ইহার কারণ কি? ভাসনের শর্ত হইতে দাঁড়ায় যে বরফের টুক্‌রা সম-আয়তন জলের চাইতে হাল্‌কা। সত্যই তাই। দেখা গিয়াছে 1 ঘন সেন্টিমিটার বরফের ওজন 0·92 গ্রাম অথচ 1 ঘন সেন্টিমিটার জলের ওজন প্রায় 1 গ্রাম। কাজেই বরফের কোন টুক্‌রা সম-আয়তন জলের চাইতে হাল্‌কা। এই কারণে বরফ জলে ভাসে। কোন এক টুক্‌রা বরফকে জলে ছাড়িয়া দিলে ভাসমান অবস্থায় উহার আয়তনের $\frac{11}{12}$ ভাগ জলের ভিতরে এবং $\frac{1}{12}$ ভাগ জলের বাইরে থাকিবে কারণ পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে 0°C তাপমাত্রায় 11 c.c. জল জমিয়া 0°C তাপমাত্রায় 12 c.c. বরফে পরিণত হয়।

(2) জাহাজ জলে ভাসে কেন?

এক টুক্‌রা লোহা জলে ডুবিয়া যায়, কিন্তু লোহার তৈয়ারী জাহাজ তাহার বিরাট আকৃতি লইয়া জলে ভাসে। ইহার কারণ কি?

লোহার টুকরাকে যদি এরূপ আকার দেওয়া যায় যে টুক্‌রাটি এমন পরিমাণ জল অপসারিত করে যাহার ওজন টুক্‌রার ওজনের চাইতে বেশী—তাহা হইলে টুক্‌রাটি জলে ভাসিবে। আমরা জানি লোহার কড়াই জলে ভাসে।

জাহাজ জলে ভাসিবার কারণ একই। জাহাজের তলদেশ কড়াইয়ের মত এমন বাঁকানো যে তলদেশ যথেষ্ট পরিমাণ জল অপসারিত করিতে পারে; ফলে জাহাজ জলে ভাসিতে পারে।

নদীর জলের ঘনত্ব সমুদ্রের লবণাক্ত জলের ঘনত্বের চাইতে কম। কাজেই নদীর জলের প্লবতা সমুদ্র-জলের প্লবতা অপেক্ষা কম। সেইজন্য কোন জাহাজ সমুদ্র হইতে নদীতে প্রবেশ করিলে জাহাজের বেশী অংশ জলে নিমজ্জিত হয়।

জল হইতে ভারী দ্রব্যকে জলে ভাসাইয়া রাখিবার আর একটি উপায় আছে—উপযুক্ত সাইজের হালকা দ্রব্য উহার সহিত যুক্ত করা। জীবন-রক্ষী (life-belt) বা বয়া এই নীতিতে কাজ করে। হাল্‌কা বায়ুপূর্ণ থলি দিয়া জীবন-রক্ষী নির্মাণ করা হয় এবং উহার সাহায্যে মানুষ অনায়াসে জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে।

(3) মানুষ সাঁতার কাটে কি করিয়া?

মানুষের দেহ সম-আয়তন জলের চাইতে হাল্‌কা কিন্তু মাথা ওজনে ভারী। কাজেই দেহ সহজে জলে ভাসে কিন্তু মাথা জলে ডুবিয়া যাইতে চায়। সেইজন্য হাত-পা নাড়িয়া জলে চাপ দিয়া মাথা জলের বাইরে রাখিতে পারার নামই সাঁতার কাটা। সাঁতার মানুষের স্বভাবজাত নয়—শিখিয়া লইতে হয়। কিন্তু জন্তু-

জানোয়ারের পক্ষে সাঁতার স্বভাবজাত। ইহার কারণ জন্তুদের মাথা সম-আয়তন জলের চাইতে হাল্‌কা কিন্তু দেহ ওজনে ভারী।

6-14. ভাসমান বস্তুর কোন আপাত ওজন নাই (A floating body is apparently weightless) :

তরল অপেক্ষা হালকা কোন বস্তু লইয়া ঐ বস্তুকে তরলে পূর্ণ নিমজ্জিত করিয়া ছাড়িয়া দিলে বস্তুটি তরলে ডুবিয়া থাকে না—ভাসিয়া ওঠে। যখন বস্তুটি স্থির অবস্থায় ভাসে তখন তাহার ওজন অপসারিত তরলের ওজনের সমান হয়। বস্তুর ওজন খাড়া নিম্নমুখী ক্রিয়া করে এবং অপসারিত তরলের ওজন খাড়া ঊর্ধ্বমুখী ক্রিয়া করে। সমান ও বিপরীতমুখী এই দুই বল পরস্পরকে নিস্ক্রিয় করিয়া দেয় এবং ভাসমান অবস্থায় বস্তু তাহার ওজন সম্পূর্ণ হারাইয়া ফেলে। এই কারণে বলা হয় ভাসমান বস্তুর কোন আপাত ওজন থাকে না।

6-15. ভাসমান বস্তু সম্পর্কে দুইটি প্রয়োজনীয় তথ্য (Two important facts in connection with a floating body) :

(ক) মনে কর, V c.c. আয়তনের এবং D gm/c.c. ঘনত্বের একটি বস্তু d gm/c.c. ঘনত্বের তরলে ভাসিতেছে। যদি বস্তুর v c.c. আয়তন তরলে নিমজ্জিত থাকে তবে v c.c. তরল অপসারিত হইবে। ভাসনের শর্তানুযায়ী, বস্তুর ওজন=অপসারিত তরলের ওজন অথবা, $V.D=v.d$

অথবা $\frac{v}{V}=\frac{D}{d}$

$$\text{অর্থাৎ} \quad \frac{\text{বস্তুর নিমজ্জিত অংশের আয়তন}}{\text{বস্তুর মোট আয়তন}}=\frac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{তরলের ঘনত্ব}}$$

(খ) যদি বস্তুর আয়তনের n ভগ্নাংশ উক্ত তরলে নিমজ্জিত থাকে, তবে ভাসনের শর্তানুযায়ী, $VD=n.V.d$ অথবা, $D=n.d.$

অর্থাৎ বস্তু উহার n ভগ্নাংশ কোন তরলে নিমজ্জিত রাখিয়া ভাসিতে থাকিলে, ঐ বস্তুর ঘনত্ব তরলের ঘনত্বের n গুণ হইবে। বস্তু জলে ভাসিলে, $d=1$ gm/c.c. ; সেক্ষেত্রে $D=n$ অর্থাৎ ভাসমান বস্তুর আয়তনের যে-ভগ্নাংশ জলে নিমজ্জিত থাকিবে তাহাই বস্তুর ঘনত্ব।

উদাহরণ : বরফের ঘনত্ব 0·917 gm/c.c. হইলে, একখণ্ড বরফের কত আয়তন জলের বাহিরে রাখিয়া বরফ খণ্ড ভাসিতে থাকিবে?

উঃ। আমরা জানি, বস্তুর আয়তনের যে-ভগ্নাংশ জলে নিমজ্জিত থাকিবে

তাহা হইবে বস্তুর ঘনত্বের সমান। সুতরাং এক্ষেত্রে বরফ খণ্ডের 0·917 অংশ জলে নিমজ্জিত থাকিবে। সুতরাং জলের বাহিরে থাকিবে (1 – 0·917)=0·083 অংশ।

প্রশ্নাবলী

1. আর্কিমিডিসের নীতি কি? এই নীতির পরীক্ষা বর্ণনা কর। [*M. Exam., 1981, '83, '85, '88*]

2. আপাত ওজন এবং প্রকৃত ওজন বলিতে কি বোঝ? কোন্‌টি বেশী এবং কেন?

3. আর্কিমিডিস নীতি প্রয়োগ করিয়া কোন অসম বস্তুর আয়তন ও ঘনত্ব কিরূপে নির্ণয় করিবে? [*M. Exam., 1983, '88*]

4. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর পরিষ্কার করিয়া বুঝাইয়া দাও ঃ—
   (ক) একটি ভারী পাথরকে জলের ভিতরে সহজে সরানো যায় কেন?
   (খ) নদীর জলে সাঁতার কাটার চাইতে সমুদ্র-জলে সাঁতার কাটা সহজ কেন?
   (গ) সমুদ্র-জল হইতে নদী-জলে আসিলে জাহাজ বেশী ডোবে কেন?
   (ঘ) লোহা জলে ডোবে কিন্তু লোহার তৈয়ারী জাহাজ জলে ভাসে কেন?
   (ঙ) দুইটি অবিকল একই রকম গোলক—একটি ফাঁপা এবং অপরটি নিরেট—জলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত আছে। কোন্‌টি বেশী উর্ধ্বঘাত অনুভব করিবে?
   (চ) বিশুদ্ধ জলে ডিম ডোবে কিন্তু তীব্র লবণাক্ত জলে ভাসে কেন?

5. ভাসন ও নিমজ্জনের শর্তগুলি বুঝাইয়া দাও। স্থির হইয়া ভাসিতে গেলে বস্তুটির কি করা প্রয়োজন?

6. 'আপেক্ষিক গুরুত্ব' কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। প্রমাণ কর, সি জি এস্ পদ্ধতিতে আপেক্ষিক গুরুত্বের ও ঘনত্বের মান সমান। আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের পার্থক্য কি?

7. প্লবতা বলিতে কি বুঝায় তাহা ব্যাখ্যা কর। একটি সাধারণ হাইড্রোমিটার কিভাবে ব্যবহৃত হয়? [*M. Exam., 1982*]

8. আর্কিমিডিসের নীতি প্রয়োগ করিয়া জল হইতে ভারী এবং জলে অদ্রাব্য কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব কিরূপে নির্ণয় করিবে? [*M. Exam., 1982*]

9. প্লবতা কাহাকে বলে? ভাসনের সূত্রগুলি লিখ। একটি সাধারণ হাইড্রোমিটার বর্ণনা কর। [*M. Exam., 1984*]

10. ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা লিখ। উহাদের একক কি? [*M. Exam., 1985, '86, '87, '88*]

11. তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের একটি গবেষণাগার পরীক্ষা বর্ণনা কর। জল অপেক্ষা ভারী ও জলে দ্রবণীয় নয় এমন কঠিন বস্তুর আয়তন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব সাধারণ তুলাদণ্ডের সাহায্যে কিভাবে নির্ণয় করা যায়? [*M. Exam., 1986, '87*]

● **Objective type :**

12. (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত প্রত্যেকটি উক্তির পাশে উহাদের ব্যাখ্যা দেওয়া আছে। একটি মাত্র লাইনে কারণ দর্শাইয়া বল ঐ ব্যাখ্যা ভুল কি নির্ভুল ঃ

উক্তি	ব্যাখ্যা
(a) বায়ুতে ওজন অপেক্ষা কোন তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর ওজন কম হয়।	তরল প্রদত্ত প্লবতা বস্তুকে হালকা করে।
(b) পারদের ঘনত্ব 13·6 gm/c.c ; উহার আপেক্ষিক গুরুত্বও 13·6.	সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের মান ঐ পদার্থের ঘনত্বের সমান।
(c) সোনার আঃ গুঃ=19·3 ; এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি সোনার ঘনত্ব=$19 \cdot 3 \times 62 \cdot 5$ lb/cu-ft	জলের ঘনত্ব 62·5 lb/cu.ft
(d) তরল অপেক্ষা কোন কঠিন বস্তু হালকা হইলে, ঐ বস্তু ঐ তরলে ভাসে।	ভারী তরলের প্লবতা কম।
(e) লোহার একটি সমতল প্লেট জলে ডুবিয়া যায় কিন্তু উহাকে বাঁকাইয়া নৌকার মত করিলে ভাসিতে থাকে।	বাঁকানো অবস্থায় ইহা বেশী আয়তনের বায়ু অপসারিত করিয়া হালকা হয়।

13. নিম্নলিখিত বাক্যগুলির শূন্য স্থান উপযুক্ত শব্দ দ্বারা পূরণ কর ঃ

(a) এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্বের একক—(গ্র্যাম/সি সি ; পাউণ্ড/ফুট ; কিলোগ্র্যাম/ঘনমিটার)

(d) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব উহার—সমান। (ঘনত্ব, আয়তন, ক্ষেত্রফল)

(e) কোন পদার্থের আঃ গুঃ=1·17 ; এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহার ঘনত্ব—। (17 পাউণ্ড/ঘনফুট ; $17 \times 62 \cdot 5$ পাউণ্ড/ঘনফুট।; $1 \cdot 17 \times 62 \cdot 5$ পাউণ্ড/ঘনফুট)

(d) সাধারণ হাইড্রোমিটারের কার্যনীতি—। (প্লবতা, ভাসন, নিমজ্জন)

(e) একটি বস্তুকে প্রথমে বায়ুমধ্যে এবং পরে শূন্য স্থানে ওজন করা হইল। বস্তুর ওজন —পাইবে। (বৃদ্ধি, হ্রাস, অপরিবর্তিত থাকিবে)

(f) একটি জাহাজ সমুদ্রের লবণাক্ত জল হইতে নদীর পরিষ্কার জলে প্রবেশ করিলে, ইহা —ডুবিয়া যায়। (বেশী, কম, না বেশী না কম)

14. নির্ভুল উত্তরটি √ চিহ্নিত কর ঃ

(i) যখন কোন বস্তু তরলে ভাসে তখন উহার ওজন অপসারিত তরলের ওজনের—(*a*) সমান, (*b*) কম, (*c*) বেশী হয়।

(ii) একটি বস্তু জলে ভাসিতেছে। উহাকে অন্য একটি হালকা তরলে ভাসানো হইল। বস্তুর আয়তনের (*a*) বেশী অংশ, (*b*) কম অংশ (*c*) সমান অংশ তরলে ডুবিয়া থাকিবে।

(iii) কোন বস্তুকে তরলে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত রাখিলে, উহার কিছু ওজন হ্রাস হয়। এই ওজন হ্রাস (*a*) অপসারিত তরলের আয়তনের সমান, (*b*) অপসারিত তরলের ভরের সমান, (*c*) অপসারিত তরলের ওজনের সমান, (d) অপসারিত তরলের ঘনত্বের সমান।

(iii) যখন কোন বস্তু তরলে স্থিরভাবে ভাসে তখন উহার ভারকেন্দ্র প্লবতা কেন্দ্রের সহিত (*a*) একই খাড়া উল্লম্ব রেখায়, (*b*) একই আনত রেখায়, (*c*) একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থান করে।

অঙ্ক ঃ

15. একটি বস্তর ওজন 36 gm. বস্তুটির জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 30 gm. বস্তুটির আয়তন ও ঘনত্ব কত? [Ans. 6 c.c., 6gm/c.c.]

16. কোন বস্তর বায়ুতে ওজন 50 gm. উহার জলের ভিতর ওজন 40 gm. বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব ও আয়তন কত? [*M. Exam. 1982*] [Ans. 10 c.c. ; 5]

17. সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19·3 হইলে, সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে সোনার ঘনত্ব কত? [Ans. 19·3 gm/c.c. ; $19{\cdot}3\times62{\cdot}5$ lb/c. ft.]

18. একটি বস্তর বায়ুতে ওজন 120 gm. কিন্তু জলে ওজন 90 gm. এবং কোন তরলে ওজন 78 gm. ; ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত? [Ans. 1·4]

19. একটি কঠিন বস্তর বায়ুতে ওজন 237·5 gm. ; 0·9 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে উহার ওজন 12·5 gm. ; বস্তর আপেক্ষিক গুরুত্ব কত? [Ans. 0·95]

20. বায়ুতে 2·84 আপেক্ষিক গুরুত্ববিশিষ্ট একখণ্ড মার্বেল পাথরের ওজন 71 gm. এবং একটি তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় উহার ওজন 49·25 gm. তরলটির আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং পাথর টুকরার আয়তন নির্ণয় কর। [Ans. 0·87 ; 25 c.c.]

21. একটি বস্তর বায়ুতে ওজন 200 gm. এবং 1·26 আপেক্ষিক গুরুত্ববিশিষ্ট তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 106·4 gm. ; বস্তর আয়তন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?
[Ans. 74·28 c.c. ; 2·69]

22. 1000 kg. ভরের এক টুকরা বরফকে সমুদ্র-জলে ফেলা হইল। ঐ বরফখণ্ডের আয়তনের কত অংশ সমুদ্র-জলে নিমজ্জিত থাকিবে? বরফের ঘনত্ব=0·917 এবং সমুদ্র-জলের ঘনত্ব=1·03 gm/c.c. [Ans. 97×10^4 c.c. (প্রায়)]

23. একখণ্ড লোহার ওজন 275 gm. ; পারদ লৌহখণ্ডটি নিজ আয়তনের $\frac{5}{9}$ অংশ নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসে। পারদের ঘনত্ব 13·59 gm/c.c. হইলে লোহার ঘনত্ব কত?
[Ans. 7·55 gm/c.c.]

24. কোন পদার্থের একটি ব্লকের ভর 1·35 kg এবং ইহার আয়তন $1{\cdot}5\times10^3$ ঘন মিটার। ব্লকটির উপাদানের ঘনত্ব কত? ব্লকটি জলে ভাসিবে না ডুবিবে?
[Ans. 9×10^2 kg/m³ ; ভাসিবে]

25. তরলে আঃ গুঃ নির্ণয়ের পরীক্ষায় নিম্নলিখিত পাঠ পাওয়া গেল। বায়ুমধ্যে কোন কঠিন বস্তুর ওজন=47·4 gm ; তার্পিনে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন=42·18 gm এবং জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন=41·4 gm.

(i). তার্পিনে বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস কত? (ii) জলে বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস কত? (iii) তার্পিনের আঃ গুঃ কত? (iv) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তার্পিনের ঘনত্ব কত?

[Ans. (i) 5·22 gm (ii) 6 gm (iii) 0·87 (iv) 0·87 gm/c.c.]

26. কোন কঠিন বস্তুর বায়ুতে ওজন 450 gm এবং ইহার ঘনত্ব 2·5 gm/c.c. ; ইহাকে 0·9 gm/c.c. ঘনত্বের তরলে নিমজ্জিত করা হইল। (i) কঠিন বস্তুর আয়তন (ii) অপসারিত তরলের ওজন (iii) তরলে কঠিন বস্তুর আপাত ওজন নির্ণয় কর।

[Ans. (i) 180 c.c. (ii) 162 gm (iii) 288 gm]

সপ্তম পরিচ্ছেদ

বায়ুমণ্ডলের চাপ এবং চাপসংক্রান্ত বিভিন্ন পাম্প

(Atmospheric pressure and various air pressure pumps)

7-1. বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric pressure) ঃ

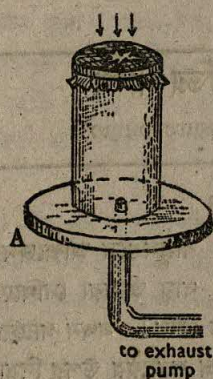
এই পৃথিবী বায়ুমণ্ডল কর্তৃক পরিব্যাপ্ত। এই বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি বহুবিধ বায়বীয় পদার্থ বিদ্যমান। বায়ু আমরা দেখিতে পাই না; কিন্তু নানা উপায়ে ইহার অস্তিত্ব অনুভব করিতে পারি। যখন গাছের পাতা নড়ে তখন বুঝি যে বায়ু বহিতেছে; পাখা চালাইলে শরীরের উপর দিয়া বায়ু প্রবাহিত হইলে বুঝি যে বায়ু আছে। এইরূপে আমরা অনুভূতির সাহায্যে বায়ুর অস্তিত্ব টের পাই। পৃথিবীকে বেষ্টন করিয়া এই বায়ুমণ্ডল বহুদূর প্রসারিত। মাছ যেমন জলে ডুবিয়া থাকে, মানুষ, জীব-জন্তু প্রভৃতি তেমনি বায়ু-সমুদ্রে ডুবিয়া আছে। পৃথিবীর বুকে সজীব প্রাণীর জীবন-ধারণ এই বায়ুমণ্ডলের জন্যই সম্ভব---কারণ, নিশ্বাস-প্রশ্বাসের জন্য তাহারা বায়ুমণ্ডলের নিকট ঋণী।

এই বায়ুমণ্ডলের ওজন আছে। পৃথিবীর উপর বায়ুমণ্ডল চাপ প্রদান করে। সাধারণত বায়ু অত্যন্ত হাল্‌কা হওয়াতে মনে হয় এই চাপ অতি সামান্য। কিন্তু পৃথিবীর চতুর্দিকে প্রায় 200 মাইল পর্যন্ত পরিব্যাপ্ত বায়ুমণ্ডলের সমস্ত বায়বীয় পদার্থের কথা চিন্তা করিলে দেখা যাইবে এই চাপ সামান্য নয়। প্রকৃতপক্ষে পৃথিবীর উপরে **প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে এই চাপের পরিমাণ প্রায়** 14·7 পাউণ্ড (প্রায় 7 সের)। একজন প্রাপ্তবয়স্ক মানুষের দেহের ক্ষেত্রফল 16 বর্গফুট। সুতরাং মানুষের শরীরে বায়ুমণ্ডল যে-চাপ প্রদান করে তাহার মোট পরিমাণ $16 \times 144 \times 14{\cdot}7$ পাউণ্ড অথবা 405 মণ। কাজেই বায়ুমণ্ডলের চাপ নগণ্য একথা বলা চলে না। তবে মানুষের শরীরের ভিতরেও বায়ু প্রবেশ করে বলিয়া বাহিরের এই চাপ ভিতরের চাপের সমান ও বিপরীত। কাজেই মানুষ সাধারণত এই চাপ অনুভব করে না।

তরলের ন্যায় বায়ুমণ্ডল সর্বদিকে চাপ প্রদান করে এবং বায়ুমণ্ডল-সংলগ্ন কোন তলের উপর লম্বভাবে এই চাপ ক্রিয়া করে।

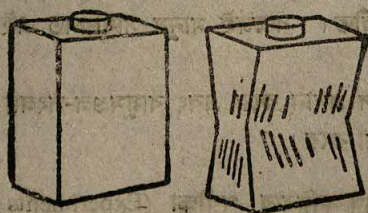
7-2. বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবার পরীক্ষা (Experiments to demonstrate the existence of atmospheric pressure) :

(1) একটি দুমুখ খোলা শক্ত কাচের চোঙ্ লইয়া একমুখ পাতলা রবার

পাত দিয়া শক্ত করিয়া আটকাও (45 নং চিত্র)। কাচের পাত্রকে বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের (exhaust pump) রেকাবী A-তে বসাও। রেকাবী এবং পাত্রের মুখের মধ্যে যাহাতে কোন ফাঁক না থাকে সেজন্য ভেসলীন দিয়া মুখ বায়ুনিরুদ্ধ (air tight) কর। পাত্রের ভিতরস্থ বায়ু এবং বাহিরের বায়ুর চাপ সমান এবং বিপরীতমুখী বলিয়া রবার পাত সমতল থাকিবে। এখন বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্র চালাইয়া পাত্রের ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া লইলে দেখা যাইবে রবার পাতটি ক্রমশ উপর হইতে চাপ খাইয়া বাঁকিয়া যাইতেছে। ভিতরের বায়ু বেশী বাহির করিয়া লইলে রবার পাত ক্রমশ বাঁকিতে বাঁকিতে সশব্দে ফাটিয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে, বায়ুমণ্ডলের চাপ আছে।

বায়ুর নিম্নাভিমুখী চাপের পরীক্ষা
চিত্র নং 45

(2) একটি পাতলা রবারের বেলুনে অল্প পরিমাণ হাওয়া ভর্তি করিয়া বেলুনটির মুখ বন্ধ করা হইল। বেলুনকে বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের রেকাবীর উপর রাখিয়া একটি বড় কাচপাত্র দ্বারা ঢাকিয়া দেওয়া হইল (46 নং চিত্র)। কাচ-পাত্র ও রেকাবীর জোড়ের মুখ ভেস্‌লিন দিয়া বায়ু-নিরুদ্ধ কর। এইবার পাম্প চালাইয়া কাচপাত্রের বায়ু যত বাহির করিয়া লওয়া হইবে তত বেলুন আস্তে আস্তে ফুলিতে থাকিবে। ইহার কারণ এই যে বেলুনের চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ু নিষ্কাশিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে বেলুনের বাহিরের চাপ কমিয়া যায়। কিন্তু বেলুনের ভিতরস্থ বায়ুর চাপ সাধারণত বায়ুর প্রাথমিক চাপের সমান থাকায় ঐ বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি হয় এবং বেলুন ফুলিয়া উঠে।

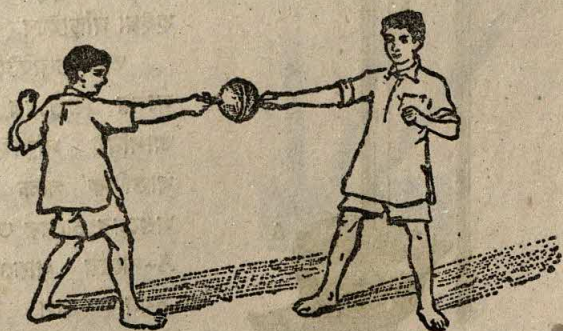
বায়ুর বহির্মুখী চাপের পরীক্ষা
চিত্র নং 46

(3) একটু লম্বা ধরনের ছোট মুখওয়ালা পাতলা টিনের পাত্র (চিত্র নং 47) লইয়া উহাতে কিছু জল ঢাল। জলকে দ্রুত উত্তপ্ত করিয়া ফুটাও। ইহাতে জলীয় বাষ্প পাত্রের ভিতরকার সব বায়ুকে বাহির করিয়া দিবে। এইবার পাত্রের মুখ রবারের ছিপি

বায়ুমণ্ডলের পার্শ্বচাপের পরীক্ষা
চিত্র নং 47

দিয়া বায়ুনিরুদ্ধ (air tight) ভাবে আটকাও এবং পাত্রটি দ্রুত ঠাণ্ডা কর। ইহার ফলে পাত্রের ভিতরস্থ জলীয় বাষ্প জমিয়া জল হইবে এবং ভিতরের চাপ কমিয়া যাইবে। তখন বাহিরের বায়ু চাপে পাত্রটির দেওয়াল চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ বাঁকিয়া যাইবে। এই সহজ পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় বায়ুমণ্ডল পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করিতে পারে।

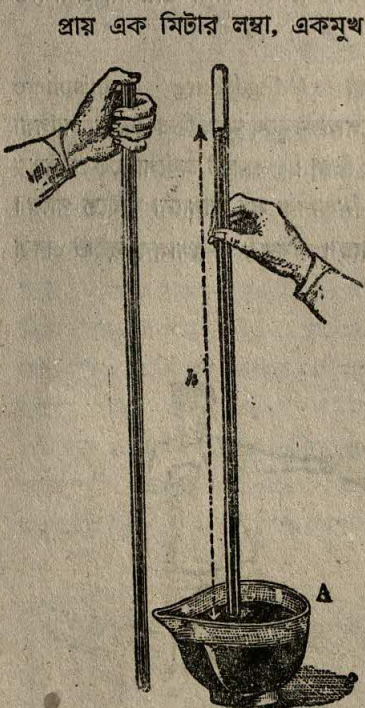
(4) কতকগুলি অতি পরিচিত ঘটনার সাহায্যে বায়ুমণ্ডলীয় চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়। আমরা যখন শ্বাস গ্রহণ করি তখন বুকের মাংসপেশী পাঁজরার হাড়কে বাহিরের দিকে ঠেলিয়া দেয়। তাহাতে বক্ষগহ্বরের আয়তন বাড়ে এবং ফুসফুসের চাপ কমিয়া যায়। তখন বায়ুমণ্ডলীয় চাপের ফলে বায়ু ফুসফুসে প্রবেশ করে। স্বয়ংক্রিয় ফাউন্টেনপেনে কালি ভরিবার প্রণালীও বায়ুমণ্ডলীয় চাপের উপর নির্ভরশীল।

(5) **ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক পরীক্ষা** (Magdeburg hemisphere experiment) ঃ দুইটি ফাঁপা পিতলের অর্ধগোলক মুখে মুখে ঠিক জোড়া লাগিয়া একটি পূর্ণ গোলক তৈয়ারী করে [48(a) নং চিত্র]। একটি অর্ধগোলকে চাবিসহ একটি নল আছে। এই নলের সহিত বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্র লাগানো যাইতে পারে। অপর অর্ধগোলকে একটি হাতল লাগানো আছে। যখন অর্ধগোলক দুইটি একত্র

ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক (a) ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক পরীক্ষা (b)

চিত্র নং 48

করা হয় এবং ভিতরে বায়ু থাকে তখন উহাদের আলাদা করা খুব সহজ। কারণ, ভিতরের বায়ুর চাপ এবং বাহিরের বায়ুর চাপ সমান ও বিপরীত। কিন্তু অর্ধগোলক দুইটি বায়ুনিরুদ্ধভাবে একত্র করিয়া বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রদ্বারা ভিতরের

বায়ু সম্পূর্ণ বাহির করিয়া দিলে, উহাদের আলাদা করা খুবই শক্ত। কারণ তখন ভিতরে কোন চাপ থাকে না কিন্তু বাহির হইতে বায়ুমণ্ডল চতুর্দিকে গোলকের উপর প্রচণ্ড চাপ প্রয়োগ করে। জার্মানীর ম্যাগডেবার্গ শহরে অটো ভন্ গেরিক 2 ফুট ব্যাসযুক্ত দুইটি অর্ধগোলকের দ্বারা এই পরীক্ষা করিয়াছিলেন। গোলকটির ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া নিলে বায়ুমণ্ডল এত চাপ প্রয়োগ করিয়াছিল যে উভয় দিকে 6টি ঘোড়া লাগাইয়া উহাদের আলাদা করা সম্ভব হয় নাই। এই পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ হয় যে **বায়ুমণ্ডল চতুর্দিকে চাপ প্রদান করে।**

(6) **টরিসেলির পরীক্ষা** (Torricelli's experiment) ঃ টরিসেলির পরীক্ষাদ্বারা শুধু যে বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয় তাহা নহে—ইহার পরিমাপও সম্ভব।

প্রায় এক মিটার লম্বা, একমুখ খোলা এবং সর্বত্র সমান ব্যাসযুক্ত পুরু দেওয়ালের কাচনল লইয়া উহা পারদ পূর্ণ কর। অতঃপর খোলামুখ আঙ্গুল দিয়া আটকাইয়া সাবধানে নলটিকে উল্টাইয়া পারদপূর্ণ অপর একটি পাত্রে (A) খোলা মুখ ঢুকাইয়া দাও এবং আঙ্গুল সরাইয়া লও। নলকে খাড়া রাখার ব্যবস্থা কর। দেখিবে নলের পারদ কিছুদূর নামিয়া আসিয়া স্থির হইয়া দাঁড়াইবে (49 নং চিত্র)।

টরিসেলির পরীক্ষা

চিত্র নং 49

আপাতদৃষ্টিতে মনে হইবে যে নলের ভিতরের পারদস্তম্ভ আপনা-আপনিই দাঁড়াইয়া আছে। কিন্তু বাস্তবিক পক্ষে তাহা নহে। বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্য এরূপ হইতেছে। A-পাত্রের পারদের উপর বায়ুমণ্ডল সর্বদা চাপ দিতেছে। পাস্কালের সূত্রানুযায়ী পারদ এই চাপ নলের ভিতরকার পারদে সঞ্চালিত করিতেছে। এই ঊর্ধ্বমুখী সঞ্চালিত চাপ নলের ভিতরের পারদ স্তম্ভের ওজনের সমান হওয়ায় পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া আছে। সুতরাং **বায়ুমণ্ডলের চাপ=প্রতি একক ক্ষেত্রফলে পারদ-স্তম্ভের ওজন।**

যদি বিভিন্ন ব্যাসের কাচনল লইয়া এই পরীক্ষা করা যায় তবে দেখা যাইবে

যে প্রত্যেক নলেই পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা সমান অর্থাৎ নলের ব্যাসের হ্রাস-বৃদ্ধিতে বায়ুচাপের কোন তারতম্য হয় না।

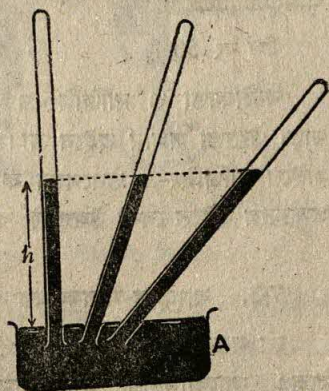
সাধারণত নলের ভিতর পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা প্রায় 76 সে.মি.। অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 সে.মি. উচ্চ পারদ-স্তম্ভকে ধরিয়া রাখিতে পারে। পারদ জল হইতে 13·6 গুণ ভারী বলিয়া বায়ুমণ্ডলের চাপ 76×13·6 সে.মি. অথবা প্রায় 34 ফুট উচ্চ জলস্তম্ভকে ধরিয়া রাখিতে পারিবে।

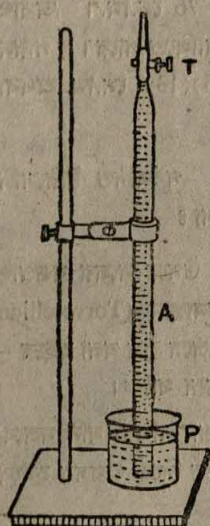
টরিসেলি-পরীক্ষা সম্বন্ধে কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয়ঃ পূর্ববর্ণিত টরিসেলি পরীক্ষা সম্বন্ধে নিম্নলিখিত বিষয় কয়টি খুবই উল্লেখযোগ্য ঃ

(i) কাচনলে যে পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে তাহার উপরে নলের বদ্ধপ্রান্ত পর্যন্ত স্থান সম্পূর্ণ শূন্য। এই শূন্যস্থানকে **টরিসেলির শূন্যস্থান** (Torrecellian vacuum) বলে। প্রকৃতপক্ষে, এই স্থানকে সম্পূর্ণ শূন্য বলিলে ভুল বলা হইবে—কারণ, খুব, সামান্য পারদ-বাষ্প এই স্থান অধিকার করিয়া থাকে।

(ii) কাচনলের খোলামুখ A-পাত্রের পারদে ডুবাইয়া রাখিয়া যদি নলকে ধীরে ধীরে কাত করা যায়, তবে পারদস্তম্ভ ক্রমশ বদ্ধপ্রান্তের দিকে অগ্রসর হইবে কিন্তু সর্বদা পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা (vertical height) একই থাকিবে; কারণ, এই খাড়া উচ্চতা বায়ুমণ্ডলের চাপ পরিমাপ করে [চিত্র নং 49 (i)]।

চিত্র নং 49 (i)

(iii) যদি কোন আবদ্ধস্থানে টরিসেলির পরীক্ষা করা যায় এবং আবদ্ধস্থান হইতে বায়ু ক্রমশ বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রের সাহায্যে বাহির করিয়া লওয়া হয়, তবে দেখা যাইবে যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা ক্রমশ কমিতেছে ; আবার আস্তে আস্তে বায়ু প্রবেশ করাইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা বাড়িয়া পূর্বের মত হইবে। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্যই নলে পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে।

(iv) কাচনলের উপর যদি একটি ছিদ্র করা যায় তবে ঐ ছিদ্রপথে বায়ু প্রবেশ করিবে এবং পারদ-স্তম্ভের উপর চাপ দিবে। ফলে স্তম্ভের উপরে এবং নীচে অর্থাৎ A-পাত্রের পারদতলে চাপ সমান হইবে। পারদস্তম্ভ তখন আর ঐভাবে দাঁড়াইয়া থাকিবে না। নিজের ভারে নামিয়া

A-পাত্রে জমা হইবে। নিম্নবর্ণিত সহজ পরীক্ষা দ্বারাও ইহা প্রমাণ করা যায়।

চিত্র নং 50

প্যাঁচকল (T) আটকানো একটি বুরেট (burette) A লইয়া জলপূর্ণ কর। বুরেটের খোলামুখ হাত দিয়া আটকাইয়া উপুড় কর এবং জলপূর্ণ একটি পাত্রের (P) ভিতর ঢুকাইয়া হাত সরাইয়া লও। দেখিবে বুরেটের জল পড়িয়া যাইবে না (চিত্র নং 50)। ইহার কারণ কি? ইহার কারণ বায়ুমণ্ডলের চাপ P-পাত্রের জলতলে পড়িতেছে এবং উহা জল কর্তৃক সঞ্চালিত হইয়া বুরেটে দণ্ডায়মান জলস্তম্ভকে ধরিয়া রাখিয়াছে, যেমন—টরিসেলির পরীক্ষায় পারদ-স্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে। এইবার বুরেটের প্যাঁচ-কল (T) খুলিয়া দাও। খোলাপথে বায়ু প্রবেশ করিয়া চাপ দিবে। দেখিবে যে জল বুরেটে আর দাঁড়াইয়া নাই। আস্তে আস্তে P পাত্রে আসিয়া জমা হইল।

কলিকাতা ও দার্জিলিং-এ টরিসেলির পরীক্ষা করিলে নলে পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা সমান হইবে না। কলিকাতায় পারদস্তম্ভের যে উচ্চতা পাওয়া যাইবে দার্জিলিং-এ তদপেক্ষা কম উচ্চতা পাওয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে সমুদ্রতল হইতে বেশী উচ্চতায় বায়ুমণ্ডলীয় চাপ কমিয়া যায়।

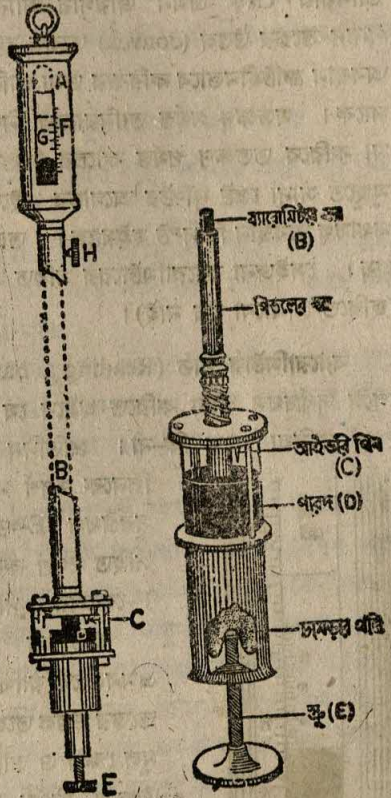
7-3. বায়ুচাপ-মাপক যন্ত্র বা ব্যারোমিটার (Barometer) ঃ

যে যন্ত্রের সাহায্যে বায়ু-চাপ মাপা হয় তাহাকে **ব্যারোমিটার** (Barometer) বলে। ব্যারোমিটার নানারকম হইতে পারে—ইহাদের মধ্যে Fortin's ব্যারোমিটার বিশেষ উল্লেখযোগ্য। এই ব্যারোমিটারের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী নিম্ন বর্ণিত হইল ঃ

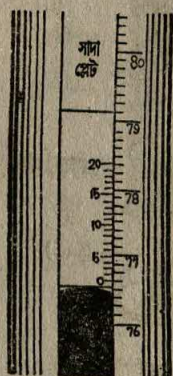
(i) Fortin's ব্যারোমিটার ঃ

বিবরণ ঃ টরিসেলির পরীক্ষায় যে-ব্যবস্থা করা হয় তাহার কিছু সংশোধন এবং পরিবর্ধন করিলে এই ব্যারোমিটার পাওয়া যায়। 51 নং চিত্রে Fortin's ব্যারোমিটারের একটি ছবি দেখানো হইল।

AB একটি সমব্যাসযুক্ত কাচনল। ইহার দৈর্ঘ্য প্রায় এক মিটার এবং

ইহার একমুখ বন্ধ। টরিসেলির পরীক্ষার মত নলটি শুষ্ক ও পরিষ্কার পারদ দ্বারা পূর্ণ করিয়া অপর একটি পারদপূর্ণ পাত্র D-এর ভিতর খোলামুখ ঢুকাইয়া উপুড় করিয়া রাখা আছে। পারদপূর্ণ এই পাত্রটির উপরাংশ কাচমণ্ডিত এবং নিম্নাংশ পিতলের তৈয়ারী। কাচনলটি একটি পিতলের নলের মধ্যে বসানো থাকে যাহাতে বাহির হইতে আঘাত লাগিয়া কাচ-নল ভাঙিয়া না যায়। সাধারণত পিতলের নলকে দেওয়ালে একটি আংটার দ্বারা একটি কাঠের ফ্রেমের সাহায্যে খাড়াভাবে ঝুলানো থাকে। পিতলের নলের উপরিভাগে প্রায় 20 সেন্টিমিটার লম্বা ও দেড় সেন্টি-মিটার চওড়া দুইটি পরস্পর বিপরীত কাটা অংশ থাকে। এই কাটা অংশের মধ্য দিয়া কাচনল ও উহার অভ্যন্তরস্থ পারদতল দেখা যায়। D পারদ-পাত্রের পারদতল (level) সর্বদা এক রাখিবার জন্য একটি হস্তিদন্তের পিন (ivory pin) C দেওয়া থাকে। D-পারদপাত্রের পারদতল উঁচুনীচু করিবার জন্য পাত্রের তলায় একটি স্ক্রু E আছে। এই স্ক্রু ঘুরাইলে D-পাত্রের তলায় একটি চামড়ার থলির আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় এবং তাহার ফলে D-পাত্রের পারদতল উঁচুতে উঠে বা নীচুতে নামে। চামড়ার থলির ভিতর দিয়া বায়ু চলাচল করিতে পারে কিন্তু পারদ পারে না। ফলে D-পাত্রের পারদতলে বায়ু-চাপ বাহিরের বায়ু-চাপের সমান হয়। (ব্যারোমিটারের এই তলার অংশ 51 নং চিত্রে আলাদাভাবে দেখানো হইয়াছে।) পিতলের নলের গায়ে একটি স্কেল F অঙ্কিত আছে এবং এই স্কেলের 0-দাগ হস্তিদন্তের পিনের অগ্রভাগের সহিত এক সমতলে অবস্থিত। পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপিবার জন্য F স্কেলের সহিত একটি ভার্নিয়ার G-যুক্ত থাকে। ভার্নিয়ারকে স্কেল বাহিয়া উঠানামা করাইবার

Fortin's ব্যারোমিটার
চিত্র নং 51

জন্য একটি স্ক্রু D পিতলের নলের গায়ে লাগানো থাকে। এই স্ক্রু ঘুরাইয়া ভার্নিয়ার Gকে এমন জায়গায় আনিতে হইবে যে ভার্নিয়ারের নীচের প্রান্ত পারদ-স্তম্ভের উত্তল (convex) তলের স্পর্শক (tangent) হয়। ভার্নিয়ারের এই অবস্থান ত্রুটিহীনভাবে করিবার জন্য ভার্নিয়ারের পিছনে একটি সাদা প্লেট লাগানো থাকে। যতক্ষণ পর্যন্ত ভার্নিয়ারের নিম্নপ্রান্ত পারদস্তম্ভের উত্তল তলকে স্পর্শ না করিবে ততক্ষণ পর্যন্ত কাচের ভিতর দিয়া সাদা প্লেট দেখা যাইবে। যে মুহূর্তে সাদা প্লেট দৃষ্টির অগোচর হইবে তখনই বুঝিতে হইবে যে ভার্নিয়ারের যথাযথ অবস্থান নির্দিষ্ট হইয়াছে। তাপমাত্রা পরিবর্তনে বায়ুচাপেরও পরিবর্তন হয়। সেইজন্য ব্যারোমিটারের সহিত সর্বদা একটি থার্মোমিটার লাগানো থাকে (ছবিতে দেখানো হয় নাই)।

ব্যারোমিটার পাঠ (Reading a barometer) ঃ ব্যারোমিটার পাঠ করিতে গেলে সর্বপ্রথম লক্ষ্য করিতে হইবে যে D পারদপাত্রের পারদতল C পিনকে স্পর্শ করিয়া আছে কি-না। প্রতিদিন বায়ুচাপ পরিবর্তনের ফলে পারদতল পিনকে স্পর্শ না করিয়াও থাকিতে পারে। এইজন্য সর্বপ্রথম E-স্ক্রু ঘুরাইয়া পারদতলকে C পিনের সহিত স্পর্শ করাইতে হইবে। ইহার ফলে পারদতল F-স্কেলের 0-দাগের সহিত এক সমতলে আসিবে।

চিত্র নং 52

অতঃপর H-স্ক্রু ঘুরাইয়া G-ভার্নিয়ারকে এমনভাবে রাখিতে হইবে যেন ইহার নিম্নতল পারদ স্তম্ভের উত্তল তলের স্পর্শক হয় (52নং চিত্র)। অতঃপর মূল স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ লইয়া পারদস্তম্ভের উচ্চতা নির্ণয় করিলে তখনকার বায়ুচাপ পাওয়া যাইবে।

সাধারণত ব্যারোমিটারে যে-ভার্নিয়ার থাকে উহার স্থিরাঙ্ক 0·005 cm. 52 নং চিত্রে যেভাবে দেখানো হইয়াছে তাহাতে মূল-স্কেল পাঠ হইল 76·4 cm. এবং 12 ঘর ভার্নিয়ার দাগ একটি মূল স্কেল দাগের সহিত মিলিয়া যাওয়ায় ভার্নিয়ার পাঠ হইল $12 \times 0{\cdot}005 = 0{\cdot}06$ cm. সুতরাং ব্যারোমিটার পাঠ হইল $76{\cdot}4 + 0{\cdot}06 = 76{\cdot}46$ cm. ইহাই তখনকার বায়ুচাপ নির্দেশ করে।

(a) **ব্যারোমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা ঃ** ব্যারোমিটারে নানারকম তরল ব্যবহার করা যাইতে পারে। কিন্তু পারদ ব্যবহারে কতকগুলি সুবিধা আছে। সুবিধাগুলি নিম্নরূপ ঃ

(i) পারদের ঘনত্ব খুব বেশী হওয়ায় পারদস্তম্ভের উচ্চতা খুব অস্বাভাবিক হয় না।

(ii). পারদ খুব বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায় এবং পারদবাষ্পের চাপ অতি সামান্য।

(iii) তাপমাত্রার পরিবর্তনে পারদের ঘনত্ব বা অন্যান্য প্রাসঙ্গিক ধর্মের পরিবর্তন খুব নিখুঁতভাবে নির্ণয় করা যায়।

(b) **ব্যারোমিটারের তরল হিসাবে জল সুবিধাজনক নয় কেন?**

প্রধানত দুইটি অসুবিধার জন্য ব্যারোমিটারে জল ব্যবহার করা যায় না; যথা:

(i) বায়ুমণ্ডলীয় চাপ জলকে 34 ft. উচ্চতায় তোলে বলিয়া ব্যারোমিটার নলকে 34 ft. লম্বা করিতে হইবে। কিন্তু এত দীর্ঘ নল লইয়া কাজ করা অসম্ভব বলিয়া জল ব্যবহার করা যায় না।

(ii) জল হইতে সর্বদা বাষ্প তৈয়ারী হয়; ফলে টরিসেলী শূন্যস্থানে প্রচুর জলীয় বাষ্প জমিবে এবং তাহা চাপ দিয়া পারদস্তম্ভকে সর্বদা নামাইয়া দিবে। এ অবস্থায় প্রকৃত বায়ুমণ্ডলীয় চাপ নির্ণয় করা যাইবে না।

7-4. বায়ুচাপের পরিমাণ (Magnitude of atmospheric pressure):

টরিসেলির পরীক্ষা-ব্যবস্থা হইতে আমরা দেখিলাম যে, পারদপূর্ণ নলটি একটি পারদপূর্ণ পাত্রে ডুবাইয়া খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিলে নলে যে-পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে প্রতি একক ক্ষেত্রে উহার ওজন বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। যেহেতু ওজন দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক সেইহেতু বায়ুমণ্ডলের চাপকে সাধারণত পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, 'বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 cm. পারদস্তম্ভের সমান' বলিতে ইহাই বুঝায় যে, প্রতি একক ক্ষেত্রে উক্ত দৈর্ঘ্যযুক্ত পারদস্তম্ভের যে-ওজন তাহাই হইবে বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান।

(i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বায়ুচাপের মান:** ধরা যাউক, কোনও স্থানে কোন দিন ব্যারোমিটার উচ্চতা 76 cm.; সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তখনকার বায়ু-চাপ নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যাইবে:

বায়ুমণ্ডলের চাপ, P=1 sq. cm. ভূমিবিশিষ্ট ও 76 cm. উচ্চতাযুক্ত পারদস্তম্ভের ওজন

$=(h\times 1)\times\rho\times g$ [ρ=পারদের ঘনত্ব]

$=76\times 1\times\rho\times g$ =13·6 gm./c.c.

$=76\times 13{\cdot}6\times 980$ dynes/sq. cm.

$=1{\cdot}013\times 10^{6}$ dynes/sq. cm.

(ii) **এফ্. পি. সি. পদ্ধতিতে বায়ুচাপের মান:** সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ব্যারোমিটার উচ্চতা 76 cm. হইলে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহা প্রায় 30

inches-এর সমান হইবে। অতএব,

বায়ুমণ্ডলের চাপ

P=1 sq. inch ভূমিবিশিষ্ট ও 30 inches উচ্চতা-যুক্ত পারদস্তম্ভের ওজন

$$=(h\times 1)\times \rho\times g.$$

$$=30\times \frac{13{\cdot}6\times 62{\cdot}5}{(12)^3}\times 32 \text{ poundals/sq. inch.}$$

$$=14{\cdot}7\times 32 \text{ poundals/sq. inch.}$$

$$=14{\cdot}7 \text{ lb. wt./sq. inch.}$$

{ পারদের ঘনত্ব ρ $=\frac{13{\cdot}6\times 62{\cdot}5}{(12)^3}$ lb/cubic inch.

7-5. বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ (Normal or standard atmospheric pressure) :

বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রায়ই পরিবর্তিত হয়। তাছাড়া বিভিন্ন স্থানের উচ্চতা বিভিন্ন হইবার দরুন এবং বায়ুর ঘনত্বও বিভিন্ন সময়ে পরিবর্তিত হয় বলিয়া বায়ুমণ্ডলীয় চাপের পরিমাণ বিভিন্ন স্থানে সমান হয় না। চাপ বেশী হইতেছে কিংবা কম হইতেছে ইহা বিচার করিতে গেলে কোন নির্দিষ্ট চাপকে মান (standard) ধরিতে হইবে। এই মানকে বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ বলা হয়। সমুদ্র-পৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশ এবং 0°C তাপমাত্রায় 76 cm. উচ্চ পারদস্তম্ভ যে-চাপ প্রয়োগ করে তাহাকে বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ ধরা হয়। 0°C তাপমাত্রায় পারদের ঘনত্ব 13·596 gm/c.c. এবং 45° অক্ষাংশ সমুদ্রপৃষ্ঠে $g=980{\cdot}6$ cm/sec² ধরিলে বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ

$$=76\times 13{\cdot}596\times 980{\cdot}6 \text{ dynes/sq. cm.}$$

$$=1{\cdot}013\times 10^6 \text{ dynes/sq. cm.}$$

মন্তব্য : (1) ব্যারোমিটারে পারদের পরিবর্তে জল ব্যবহার করিলে বায়ুমণ্ডলের চাপের দরুন ব্যারোমিটার নলে যে জলস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকিবে তাহার উচ্চতা অনেক বেশী হইবে। পারদের ঘনত্ব 13·6 gm./c.c. ধরিয়া লইলে অর্থাৎ জল অপেক্ষা পারদ 13·6 গুণ ভারী হইলে যখন পারদ ব্যারোমিটারের উচ্চতা 76 cm. বা 30 inches হইবে তখন জল-ব্যারোমিটারের উচ্চতা হইবে$=30\times 13{\cdot}6$ inches$=\frac{30\times 13{\cdot}6}{12}$ ft.$=34$ ft. সুতরাং আমরা বলিতে পারি বায়ুমণ্ডলের চাপ 34 ft. উচ্চ জলস্তম্ভকে খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিবে বা বায়ুমণ্ডলের চাপ সুবিধা পাইলে জলকে 34 ft. খাড়া তুলিয়া দিবে। (7-10 অনুচ্ছেদে 'শোষণ পাম্প দ্রষ্টব্য')

(2) গ্যাস বা তরল পদার্থ যদি খুব বেশী চাপ প্রয়োগ করে তবে উহাকে বায়ু-মণ্ডলের চাপের সহিত তুলনা করিয়া ঐ চাপকে প্রকাশ করিবার একটি পদ্ধতি আছে।

যেমন, কোন গ্যাস বা তরল পদার্থ যদি $1 \cdot 013 \times 10^6$ dynes/sq. cm. অথবা 14·7 lb. wt./sq. inch চাপ প্রয়োগ করে, তবে উহাকে **এক বায়ুমণ্ডল** (1 atmosphere) চাপ বলিয়া প্রকাশ করা হয়। তেমনি, দুই, তিন বা চার ইত্যাদি বায়ুমণ্ডল চাপ—এইভাবে গ্যাস বা তরল পদার্থের চাপকে প্রকাশ করা হয়। সুতরাং

$$1 \text{ atmosphere} = 1 \cdot 013 \times 10^6 \text{ dynes/sq. cm.}$$
$$= 14 \cdot 7 \text{ lb. wt./sq. inch.}$$

(3) আবহবিদগণ (meteorologists) বায়ুমণ্ডলীয় চাপকে 'বার' এবং 'মিলিবার' এককে প্রকাশ করিয়া থাকেন।

1 বার$=10^6$ ডাইন/বর্গ সে.মি.$=1$ মেগাডাইন/বর্গ সে.মি.

1 মিলিবার$= \dfrac{10^6}{10^3}$ ডাইন/বর্গ সে.মি.$=1000$ ডাইন/বর্গ সে.মি.

এই একক অনুযায়ী বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপকে 1·013 বার বলা যাইতে পারে।

7-6. আবহাওয়ার পূর্বাভাস ; বায়ু-চাপের উপর জলীয় বাষ্পের প্রভাব :

বায়ুচাপ নির্ণয় করা ছাড়া ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার মোটামুটি পূর্বাভাস পাওয়া সম্ভব। নানা প্রাকৃতিক কারণে কোন স্থানের বায়ুচাপ পরিবর্তিত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতারও পরিবর্তন হয়।

যেমন, পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা ধীরে ধীরে কমিতে থাকিলে বোঝা যায়, শীঘ্রই বৃষ্টির সম্ভাবনা আছে। কারণ, উচ্চতা কমার অর্থ বায়ুচাপ কমিয়া যাওয়া এবং তাহা একমাত্র সম্ভব যদি বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের আধিক্য হয়। জলীয় বাষ্প শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা হাল্‌কা বলিয়া ঐরূপ হয়। বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের আধিক্য হইলে বৃষ্টির সম্ভাবনা থাকে।

তেমনি হঠাৎ যদি পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা দ্রুত কমিয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে যে চতুর্দিকে বায়ুমণ্ডলের চাপ সহসা কমিয়া গিয়াছে। ফলে পার্শ্ববর্তী উচ্চচাপের স্থান হইতে প্রবলবেগে বায়ু ঐদিকে প্রবাহিত হইবে। অর্থাৎ, ঝড়ের সম্ভাবনা আছে।

আবার যদি পারদস্তম্ভের উচ্চতা ধীরে ধীরে বাড়িতে থাকে তবে বুঝিতে হইবে যে, বায়ুমণ্ডল হইতে জলীয় বাষ্পকে অপসারিত করিয়া শুষ্ক বায়ু সেই স্থান অধিকার করিতেছে। অর্থাৎ আবহাওয়া শুষ্ক ও পরিষ্কার থাকিবে।

এইভাবে ব্যারোমিটার লক্ষ্য করিয়া, আবহাওয়া সম্বন্ধে মোটামুটি পূর্বাভাস করা যায়।

7-7. গ্যাসের চাপ ও বয়েল সূত্র (Pressure of a gas and Boyle's law) :

চাপ প্রদান করিয়া গ্যাসের আয়তন অতি সহজে পরিবর্তন করা যায়। গ্যাসের সংনম্যতা (compressibility) কঠিন বা তরল পদার্থ হইতে অনেক বেশী।

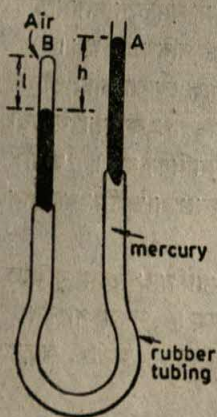
চাপের সহিত গ্যাসের আয়তনের সম্পর্ক সম্বন্ধে যে সূত্র আছে তাহাকে **বয়েল সূত্র** বলে। রবার্ট বয়েল এই সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্রানুযায়ী বলা যায় যে, **তাপমাত্রা ঠিক রাখিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ঐ গ্যাসের আয়তন চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতে (inversely) পরিবর্তিত হইবে।**

নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন যদি V হয় এবং ইহার চাপ যদি P হয় তবে উপরিউক্ত সূত্রানুযায়ী,

$$V \propto \frac{1}{P}$$ যদি গ্যাসের তাপমাত্রার পরিবর্তন না হয়।

অথবা, VP=ধ্রুবক।

কাজেই কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যদি পরিবর্তিত হইয়া V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি এবং উহাদের চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি হয়, তবে $V_1 P_1 = V_2 P_2 = V_3 P_3$ ইত্যাদি।

বয়েল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা ঃ বয়েল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা করিতে 52(a)নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে। A এবং B দুইটি কাচনল। B নলের উপরের মুখ বন্ধ। A নলের উভয় মুখ খোলা। কাঠের ফ্রেমের সঙ্গে একটি স্কেলের দুই পাশে উহারা আটকানো। A কাচনলকে উপর-নিচ সরানো যায়। উভয়কে সংযুক্ত করিয়াছে একটি রবার নল। A এবং B নলের কিছু অংশ এবং রবার নলটি পুরাপুরি পারদপূর্ণ। B নলের পারদস্তম্ভের উপরে কিছু বায়ু আবদ্ধ আছে।

চিত্র 52(a)

প্রথমে, A নলের উচ্চতা এরূপভাবে নিয়ন্ত্রণ করিতে হইবে যে উভয়নলের পারদস্তম্ভের লেভেল এক সমতলে থাকে। এই অবস্থায় B নলের বায়ুচাপ হইবে বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান। ইহার আয়তন স্কেল হইতে নির্ণয় করিতে হইবে। আয়তন বায়ু-স্তম্ভের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। এইবার A নলকে কিছু উপরে তোল। উভয় নলেই পারদস্তম্ভ কিছু উপরে উঠিবে কিন্তু দুই নলের পারদ লেভেল সমান হইবে না। লেভেলদ্বয়ের পার্থক্য স্কেল হইতে পাঠ কর। ধর, ইহা h cm.; এই অবস্থায় ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা H cm হইলে, B নলের বায়ুচাপ হইবে $(H+h)$ cm. পারদস্তম্ভ। B নলের বায়ুর আয়তন হইবে l।

এইবার A নলকে নিচুতে নামাইয়া এমন জায়গায় আন যাহাতে উভয় নলের পারদ-লেভেলের পার্থক্য আবার h cm. হয়। এই অবস্থায় B নলের পারদ-লেভেল

A নলের লেভেল অপেক্ষা উঁচুতে থাকিবে এবং B নলের বায়ুচাপ হইবে $(H-h)$ cm. পারদস্তম্ভ। B নলের বায়ুর তখনকার আয়তন নির্ণয় কর।

এইভাবে পরীক্ষা কয়েকবার পুনরাবৃত্তি করিয়া প্রত্যেকবারের বায়ুর আয়তন ও চাপের গুণফল নির্ণয় করিতে হইবে। দেখা যাইবে গুণফল সর্বদা সমান অর্থাৎ P.V.=ধ্রুবক। ইহা বয়েল সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে।

উদাহরণ ঃ (1) 0°C তাপমাত্রায় এবং 10 বায়ুমণ্ডল চাপে 10 লিটার বায়ুর আয়তন প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় কত লিটার হইবে ?

উঃ প্রমাণ তাপমাত্রা 0°C হওয়াতে উভয় ক্ষেত্রে তাপমাত্রা একই থাকিতেছে। সুতরাং এস্থলে বয়েল সূত্র প্রয়োগ করা যাইবে।

এখন, $P_1V_1=P_2V_2$; এক্ষেত্রে $P_1=10$ বায়ুমণ্ডল ; $V_1=10$ লিটার ; $P_2=1$ বায়ুমণ্ডল (বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ) এবং $V_2=$?

কাজেই, $10\times10=1\times V_2 \quad \therefore \quad V_2=100$ লিটার

(2) 31·4 সি.সি. আয়তনযুক্ত একটি আবদ্ধ কাচপাত্র বায়ুপূর্ণ করা হইল। পরে ঐ বায়ুকে 5 সে.মি. দীর্ঘ ও 1 মি.মি. ব্যাসযুক্ত একটি সরু নলে ঢুকানো হইল। ইহাতে বায়ুচাপ দেখা গেল 4 সে.মি. পারদস্তম্ভের সমান। কাচপাত্রে থাকাকালীন বায়ুচাপ কত ছিল ?

উঃ মনে কর, কাচপাত্রে থাকিবার সময় বায়ুচাপ=H সে. মি. পারদস্তম্ভ। এখন সরু নলের আয়তন$=\pi r^2\times l=3{\cdot}14\times(0{\cdot}05)^2\times5$ সি.সি.

আমরা জানি, $P_1V_1=P_2V_2$; এক্ষেত্রে $P_1=H$; $V_1=31{\cdot}4$ সি.সি. ; $P_2=4$ সে.মি. পারদ এবং $V_2=3{\cdot}14\times(0{\cdot}05)^2\times5$ সি.সি.

কাজেই, $H\times31{\cdot}4=3{\cdot}14\times(0{\cdot}05)^2\times5\times4$

অথবা, $H=\dfrac{3{\cdot}14\times(0{\cdot}05)^2\times5\times4}{31{\cdot}4}=0{\cdot}005$ সে.মি. পারদস্তম্ভ

(3) 90 metre গভীর একটি জলাশয়ের তলদেশে 2 c.c. আয়তনের একটি বায়ু বুদবুদ গঠিত হইল। বায়ুমণ্ডলীয় চাপ 1000 cm. জলস্তম্ভ হইলে, কত গভীরতায় বুদবুদের আয়তন তিনগুণ হইবে নির্ণয় কর।

উঃ বুদবুদের প্রাথমিক আয়তন=2 c.c. ; চূড়ান্ত আয়তন$=3\times2=6$ c.c. ; বুদবুদের প্রাথমিক চাপ=বায়ুমণ্ডলীয় চাপ+জলের চাপ$=1000+9{,}000$ $=10^4$ cm. জলস্তম্ভ।

$$\therefore \quad P_1V_1=P_2V_2$$

অথবা, $10^4\times2=P_2\times6 \quad \therefore \quad P_2=3333{\cdot}3$ সে.মি.$=33{\cdot}3$ মিটার জলস্তম্ভ

অতএব, নির্ণেয় গভীরতা$=(33{\cdot}3-10)=23{\cdot}3$ metre

7-8. বায়ুচাপ সংক্রান্ত যন্ত্র (Air pressure machines) ঃ

বায়ুমণ্ডলের চাপকে অবলম্বন করিয়া কতকগুলি যন্ত্র তৈয়ারী হইয়াছে। এই যন্ত্রগুলির সাধারণ নীতি হইতেছে নিম্নরূপ ঃ

একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টনের সাহায্যে কোন আবদ্ধ জায়গায় বায়ুর চাপ কমানো হয় এবং বাহিরের বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপের সাহায্যে কোন তরলকে ঐ আবদ্ধ জায়গায় ঢুকানো হয়। তরল যাহাতে এক দিকে যাইতে পারে এজন্য একপ্রকার ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়। তাহাকে ভালভ্ (valve) বলে। এই ভাল্‌ভ তরলকে একদিকে যাইতে দেয়। বিপরীত দিক হইতে তরল আসিলে ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায়। পিচকারী (syringe), বিভিন্ন ধরনের পাম্প ইত্যাদি যন্ত্র এই নীতিতেই তৈয়ারী।

7-9. পিচ্‌কারী (Syringe) ঃ

একটি কাচের চোঙের একমুখ সুচালো এবং অপরমুখ খোলা। চোঙের ভিতর দিয়া একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন উপর-নীচে যাতায়াত করিতে পারে। ইহাই পিচ্‌কারী। সুঁচালো মুখ কোন তরলে ডুবাইয়া পিস্টনটি উপরের দিকে টানিলে চোঙ তরল দ্বারা পূর্ণ হইয়া যায় (53 নং চিত্র)।

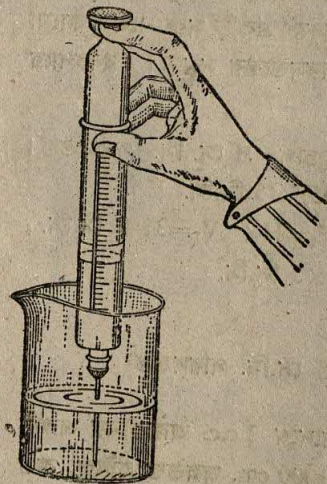
পিচ্‌কারী

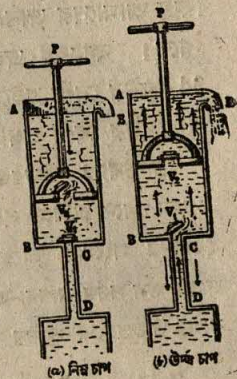
চিত্র নং 53

কার্যপ্রণালী ঃ পিস্টনটি উপরের দিকে টানিলে পিস্টনের তলার বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি হয়। ফলে এই বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা অনেক কমিয়া যায়। পাত্রস্থ তরলের উপর বায়ু-মণ্ডলের বেশী চাপের ফলে তরল সুঁচালো মুখ দিয়া চোঙের ভিতর ঢুকিয়া পড়ে। যখন পিচ্‌কারী তরল হইতে বাহিরে আনা যায় তখন বায়ুমণ্ডলের উর্ধ্বচাপের ফলে তরল সুঁচালো মুখ হইতে পড়িয়া যায় না।

ডাক্তারগণ এই ধরনের সিরিঞ্জ দ্বারা ইঞ্জেক্‌সন্ দেন। তাছাড়া কলমে কালি ভরিবার ড্রপার, শরবত খাইবার সরু কাঠি প্রভৃতি একই নীতি অনুযায়ী কাজ করে।

7-10. শোষণ বা সাধারণ পাম্প (Suction or Common pump) :

মাটির তলা হইতে জল তুলিবার জন্য টিউব-ওয়েলে এই পাম্প ব্যবহার করা হয়।

যন্ত্রের বিবরণ ঃ AB একটি লোহার শক্ত চোঙ (54 নং চিত্র)। চোঙটির তলায় অপেক্ষাকৃত একটি সরু নল CD লাগানো থাকে। যে-স্থান হইতে জল তুলিতে হইবে এই নল তাহার ভিতর ডুবানো থাকে। টিউবওয়েলে এই নল মাটির ভিতর জলের স্তর অবধি ঢুকানো থাকে। চোঙটির ভিতর একটি জল-নিরুদ্ধ (water-tight) পিস্টন P উঠানামা করিতে পারে। চোঙটির প্রায় উপরের প্রান্তে একটি খোলামুখ E (spout) আছে যাহা হইতে জল বাহির হইয়া আসিতে পারে। যন্ত্রে V_1 এবং V_2 দুইটি ভাল্‌ভ আছে। ইহারা উপরের দিকে খোলে অর্থাৎ জলকে নীচু হইতে উপরে যাইতে দেয় কিন্তু জল উপর হইতে নীচুতে আসিতে চেষ্টা করিলে ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায়। V_1 ভাল্‌ভ CD নল ও AB চোঙের সংযোগস্থলে এবং V_2 ভাল্‌ভ পিস্টনের সহিত যুক্ত।

(a) নিম্ন চাপ (b) ঊর্ধ্ব চাপ

সাধারণ পাম্পের কার্যপ্রণালী

চিত্র নং 54

কার্যপ্রণালী ঃ 54 (*a*) ও (*b*) নং চিত্র হইতে ইহার কার্যপ্রণালী বোঝা যাইবে।

ধরা যাউক, যখন পাম্প ক্রিয়া আরম্ভ করিল তখন পিস্টন চোঙের সর্বনিম্ন স্থানে আছে এবং ভাল্‌ভ দুইটি বন্ধ। এখন পিস্টনকে উপরের দিকে তুলিলে পিস্টনের তলায় বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি পাইবে এবং বায়ুর চাপ কমিয়া যাইবে। কিন্তু V_2 ভাল্‌ভের উপর নিম্নমুখী চাপ এবং V_1 ভাল্‌ভের উপর ঊর্ধ্বমুখী চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। কারণ, পিস্টনের উপর বা CD নলে সাধারণ বায়ু বর্তমান। ফলে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে এবং V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে। সঙ্গে সঙ্গে কিছু জলও চোঙে পৌঁছায়। যতক্ষণ পিস্টন চোঙের সর্বোচ্চস্থানে না যাইবে ততক্ষণ CD নল দিয়া বায়ু ও জলের এইরূপ ঊর্ধ্বগতি হয়।

এখন পিস্টনকে নীচু দিকে নামাইলে AB চোঙের বায়ু ক্রমাগত চাপ খাইবে এবং যখন ইহার চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের বেশী হইবে তখন V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং খোলামুখ দিয়া বায়ু বাহির হইয়া যাইবে। খানিকটা জলও পিস্টনের উপর আসিতে পারে। যতক্ষণ পিস্টন নীচুদিকে নামিবে ততক্ষণ এইপ্রকার ক্রিয়া চলিবে এবং ততক্ষণ V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে।

এইরূপ কয়েকবার পিস্টনকে উঠা-নামা করাইলে জল E-মুখ পর্যন্ত পৌঁছিবে। তারপর আর একবার পিস্টনকে উপরের দিকে উঠাইলে E-মুখ দিয়া জল বাহির হইয়া আসিবে। একবার জল বাহির হইলে পিস্টনের প্রত্যেক ঊর্ধ্বগতিতে জল E-মুখ দিয়া বাহির হইবে।

মনে রাখিবে যে, পিস্টনের নিম্নগতিতে জল পিস্টনের উপর সঞ্চিত হয় এবং উর্ধ্বগতিতে ঐ জল E-মুখ দিয়া বাহির হইয়া আসে।

যন্ত্রের সীমা (Limitation of the pump) ঃ পাম্পের কার্যপ্রণালী হইতে বোঝা যায় যে, চোঙে জল প্রবেশ করিবার জন্য দায়ী হইতেছে বায়ুমণ্ডলের চাপ। কিন্তু আমাদের জানা আছে, বায়ুমণ্ডলের চাপ জলকে প্রায় 34 ফুট পর্যন্ত তুলিতে পারে। কাজেই জলাধারের জলতল হইতে চোঙ পর্যন্ত CD নলের উচ্চতা 34 ফুটের বেশী হইলে পাম্প দ্বারা জল তোলা যাইবে না। প্রকৃতপক্ষে এই নল 30 ফুটের বেশী লম্বা করা হয় না।

[**দ্রষ্টব্য** ঃ টিউবওয়েলে অনেক সময় 34 ফুটের বেশী গভীর পর্যন্ত নল বসাইতে হয়। সেখানে মনে রাখিতে হইবে যে, মাটির ভিতরের জলের সহিত কাছাকাছি কোন পুকুর, নদী ইত্যাদির সংযোগ আছে। ঐ জল সম-লেভেলে প্রবণতার জন্য নল বাহিয়া পুকুরের জলের তল পর্যন্ত আপনা-আপনিই উঠিবে। কাজেই দেখিতে হইবে যে মাটি হইতে চোঙ পর্যন্ত নলের উচ্চতা 34 ফুটের কম কি-না।]

7-11. সাইফন (Siphon) :

পাত্রকে সরাসরি না নাড়াইয়া এক পাত্র হইতে অন্য পাত্রে তরলের স্থানান্তর বা তলানীযুক্ত পদার্থ হইতে পরিষ্কার তরলকে স্থানান্তরিত করা ইত্যাদি কার্যে সাইফন ব্যবহৃত হয়।

বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ঃ একটি U-আকারের কাচ বা রবার নলকে সাইফন হিসাবে ব্যবহার করা যাইতে পারে। সাইফনের এক বাহু অপর বাহু অপেক্ষা লম্বা হওয়া প্রয়োজন। যে-তরল স্থানান্তরিত করিতে হইবে প্রথমে নলটি সেই তরল দ্বারা পূর্ণ কর। খোলা মুখ দুইটি আঙুল দ্বারা বন্ধ করিয়া ছোট বাহু তরলপূর্ণ পাত্রে ডুবাইয়া দাও এবং বড় বাহু খালি পাত্রে রাখ। আঙুল সরাইয়া লইলে তরলপূর্ণ পাত্র হইতে তরল নল বাহিয়া ক্রমাগত খালি পাত্রে জমা হইবে (55 নং চিত্র)।

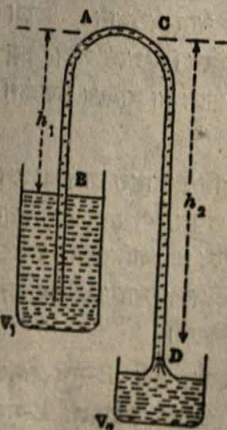
সাইফনের কার্যপ্রণালী
চিত্র নং 55

কার্যপ্রণালীর ব্যাখ্যা ঃ একই অনুভূমিক রেখায় তরলের ভিতর A এবং C দুইটি বিন্দু লও।

A বিন্দুতে চাপ=বায়ুমণ্ডলের চাপ−AB তরল স্তম্ভের চাপ$=P-h_1d.g.$

[P=বায়ুমণ্ডলের চাপ; d=তরলের ঘনত্ব; $h_1=V_1$ পাত্রস্থ তরল তল হইতে A বিন্দুর উচ্চতা]

একইভাবে C বিন্দুতে চাপ$=P-h_2d.g.$

যেহেতু $h_1<h_2$; $(P-h_1d.g.)>(P-h_2d.g.)$

অর্থাৎ A বিন্দুতে চাপ C বিন্দু অপেক্ষা বেশী। কাজেই সর্বদা তরল A বিন্দু হইতে C বিন্দুতে যাইবে এবং বড় বাহু বাহিয়া V_2 পাত্রে পড়িবে। কিন্তু যেই A বিন্দু হইতে তরল সরিয়া গেল সঙ্গে সঙ্গে বায়ুমণ্ডলের চাপে V_1 পাত্র হইতে আরও তরল ছোট বাহু বাহিয়া A বিন্দুতে পৌঁছাইবে। এইভাবে ক্রমাগত তরল V_1 পাত্র হইতে নল বাহিয়া V_2 পাত্রে জমা হইবে।

সাইফন ক্রিয়ার শর্ত ঃ (1) h_1 উচ্চতা সর্বদা h_2 উচ্চতার কম হইতে হইবে। কারণ, $h_1=h_2$ হইলে A বিন্দুর চাপ=C বিন্দুর চাপ হইবে এবং কোন তরল A হইতে C বিন্দুতে যাইবে না এবং সাইফন ক্রিয়া বন্ধ হইবে।

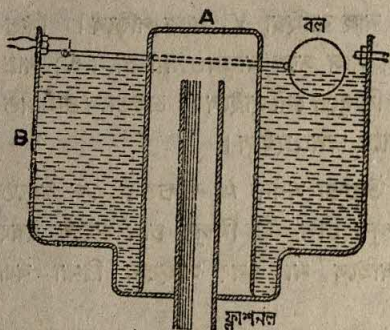
(2) বায়ুমণ্ডলের চাপ তরলকে যে উচ্চতা পর্যন্ত তুলিতে পারে তাহা অপেক্ষা h_1 কম হওয়া প্রয়োজন। কারণ, A বিন্দু পর্যন্ত তরলকে পৌঁছাইয়া দেয় বায়ুমণ্ডলের চাপ। জলের বেলাতে h_1-এর উচ্চতা 34 ফুটের কম হওয়া প্রয়োজন।

(3) বায়ুশূন্য স্থানে সাইফন-ক্রিয়া হয় না। কারণ বায়ুশূন্য স্থানে AB নলের তরল V_1 পাত্রে এবং CD নলের তরল V_2 পাত্রে পড়িয়া যাইবে এবং আর কোন তরল নল বাহিয়া উঠিবে না। সেইহেতু সাইফন-ক্রিয়াও বন্ধ হইয়া যাইবে।

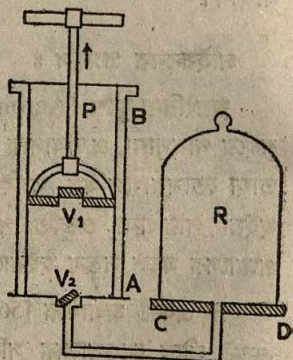
সাইফনের প্রয়োগ ঃ

স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ (Automatic flush) ঃ কলিকাতা, বোম্বাই প্রভৃতি বড় বড় শহরে পায়খানা, প্রস্রাবাগার পরিষ্কার করিবার জন্য স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ ব্যবস্থা থাকে, তাহা তোমরা দেখিয়া থাকিবে। একটি শিকল টানিলে প্রবলবেগে জল বাহির হইয়া পায়খানা প্রভৃতি পরিষ্কার করে। এই স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থা সাইফনের প্রয়োগের ফলে সম্ভব হইয়াছে।

B একটি জলাধার [56 নং চিত্র]। ইহা পায়খানা বা প্রস্রাবাগারের ছাদের একটু নীচে দেওয়ালের সহিত আটকানো থাকে। এই আধার হইতে একটি পাইপ বাহির হইয়া আসিয়াছে। ইহাকে ফ্লাশনল বলে। A একটি ঢাক্‌নী—একটি শিকল ইহার সহিত যুক্ত। এই শিকল টানিলে ঢাক্‌নী উঁচুতে উঠে। সাধারণ অবস্থায় ঢাক্‌নী জলাধারের জলকে ফ্লাশনলের মুখ পর্যন্ত উঠিতে দেয় না। যেই শিকল টানা হয় তখন ঢাক্‌নী উঁচুতে উঠে এবং জল দ্রুতবেগে ফ্লাশনলের মুখ পর্যন্ত উঠিয়া সাইফন-ক্রিয়ার ফলে প্রবলবেগে নল বাহিয়া বাহির হইয়া আসে। যতক্ষণ পর্যন্ত না জলাধার জলশূন্য হয় ততক্ষণ জলের তোড়ে ঢাক্‌নী পড়িয়া যায় না। এই ট্যাঙ্কে একটি লিভার

দণ্ডযুক্ত বল থাকে [চিত্র দেখ]। ট্যাঙ্কে যত জল জমা হইতে থাকে তত বলটি উপরে ভাসিয়া উঠে এবং লিভার দণ্ডকে ক্রমশ ঘুরাইতে থাকে। লিভারদণ্ডের অপরপ্রান্তে একটি ভাল্‌ভ থাকে। ট্যাঙ্কে জল নির্দিষ্ট লেভেলে পৌঁছাইলে লিভারদণ্ড কর্তৃক ঐ ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় এবং ট্যাঙ্কে আর জল পড়ে না। পুনরায় শিকল টানিয়া ফ্লাশনল দিয়া জল বাহির করিয়া দিলে বলটি নীচে পড়িয়া যাইবে এবং লিভারদণ্ড পূর্বোক্ত ভালভ্‌কে খুলিয়া দিবে; তখন ট্যাঙ্কে জল জমিতে শুরু হইবে। এইভাবে সমগ্র ব্যবস্থাটি স্বয়ংক্রিয়ভাবে চলিতে থাকে।

স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ
চিত্র নং 56

7-12. বায়ু নিষ্কাশন পাম্প (The exhaust pump or the air pump) :
বায়ুপূর্ণ কোন বদ্ধস্থানের বায়ুকে বাহির করিয়া লইবার জন্য এই পাম্প ব্যবহৃত হয়। 1650 খ্রীষ্টাব্দে প্রুশীয় বিজ্ঞানী গেরিক এই পাম্পের উদ্ভাবন করেন।

বিবরণ ঃ 57 নং চিত্রে এই পাম্পের ছবি দেখানো হইল। AB একটি ধাতব চোঙ। ইহার মধ্য দিয়া একটি পিস্টন P বায়ুনিরুদ্ধভাবে উপরে এবং নীচে যাতায়াত করিতে পারে। CD একটি গোল প্লেট। ইহাকে পাম্পের রেকাবী (disc) বলে। ইহার মাঝখানে একটি ছিদ্র আছে। AB চোঙের নীচে একটি ছিদ্রের সহিত রেকাবীর এই ছিদ্র একটি রবার নলদ্বারা যুক্ত। রেকাবীর উপর একটি কাচপাত্র (R) রাখা আছে। ইহাকে পাম্পের 'রিসিভার' (receiver) বলে। এই পাত্রের অভ্যন্তরস্থ বায়ু পাম্প দ্বারা নিষ্কাশন করিতে হইবে। কাচপাত্র ও রেকাবীর জোড়ের মুখ ভেস্‌লীন দিয়া বায়ুনিরুদ্ধ করা হয়। AB চোঙের ছিদ্রের মুখে একটি ভাল্‌ভ V_2 এবং পিস্টনে একটি ভাল্‌ভ V_1 আছে। উভয় ভাল্‌ভই উপরের দিকে খুলিতে পারে, অর্থাৎ বায়ু উপরের দিকে যাইতে পারে কিন্তু উপর হইতে নীচে আসিতে পারে না।

বায়ু নিষ্কাশন পাম্পের নক্‌শা
চিত্র নং 57

কার্যপ্রণালী ঃ যখন পিস্টনকে চোঙের সর্বনিম্ন অবস্থান হইতে আস্তে আস্তে উপরে তোলা হয়, তখন পিস্টনের নীচে আংশিক বায়ুশূন্য স্থান সৃষ্টি হয় এবং ঐ স্থানের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম হইয়া পড়ে। ফলে R-পাত্রের বায়ু (যাহার চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান) V_2 ভাল্‌ভকে খুলিয়া AB চোঙে প্রবেশ করে। বায়ুর এইরূপ প্রবেশ চলিতে থাকিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না পিস্টন চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে পৌঁছাইবে। সুতরাং পিস্টনের ঊর্ধ্বগতিতে R-পাত্রের বায়ু আয়তনে বৃদ্ধি পাইয়া সমস্ত চোঙ অধিকার করে।

যখন পিস্টনকে নিচে নামানো হইবে তখন চোঙের বায়ু ক্রমশ চাপ খাইবে। যখন বায়ুর চাপ বৃদ্ধি পাইয়া বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপকে ছাড়াইয়া যাইবে তখন V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং ছিদ্র দিয়া চোঙের বায়ু বাহির হইয়া যাইবে। এতক্ষণ পর্যন্ত V_2 ভাল্‌ভ সব সময় বন্ধ থাকিবে। সুতরাং পিস্টনের নিম্নগতিতে AB চোঙে অবস্থিত বায়ু নিষ্কাশিত হইবে।

এইভাবে পিস্টনকে ক্রমাগত উপর-নীচ করিলে R-পাত্রের বায়ু ক্রমশ বাহির হইয়া যাইবে এবং অবশেষে পাত্র বায়ুশূন্য হইবে।

এখানে একটা কথা মনে রাখিতে হইবে যে এই পাম্প দ্বারা R-পাত্র সম্পূর্ণ **বায়ুশূন্য করা যায় না।** কারণ, V_2 ভাল্‌ভের কিছু ওজন আছে। উহাকে ঠেলিয়া খুলিবার জন্য কিছু ন্যূনতম বলের প্রয়োজন। ক্রমশ বায়ু নিষ্কাশিত হইয়া অবশেষে সামান্য একটু বায়ু R-পাত্রে থাকিয়া যায় যাহা V_2 ভাল্‌ভকে খুলিবার জন্য ন্যূনতম বল প্রয়োগ করিতে পারে না।

7-13. বায়ু সংনমন পাম্প (Air condensing or compression pump) ঃ

এই পাম্প দ্বারা কোন আবদ্ধ স্থান বায়ুপূর্ণ করা যায়। সুতরাং এই পাম্পের উদ্দেশ্য এবং নিষ্কাশক পাম্পের উদ্দেশ্য ঠিক বিপরীত।

বিবরণ ঃ এই পাম্পের গঠন ঠিক নিষ্কাশক পাম্পেরই মত; শুধু ভাল্‌ভ দুইটি বিপরীত দিকে খোলে অর্থাৎ বায়ুকে রিসিভার পাত্রে যাইতে দেয় কিন্তু রিসিভার পাত্র হইতে বাহিরে যাইতে দেয় না।

বায়ু সংনমন পাম্পের নক্‌শা
চিত্র নং 58

কার্যপ্রণালী ঃ 58নং চিত্রে এই পাম্পের নক্‌শা দেখানো হইল। যখন P পিস্টনটি B হইতে A অভিমুখে যায় তখন V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায়, কারণ, চোঙের বায়ুচাপ অপেক্ষা বায়ুমণ্ডলের চাপ অধিক। ফলে AB চোঙ্ বায়ুপূর্ণ হয়। এই সময় পর্যন্ত V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকে। এইবার P পিস্টনকে নীচের দিকে চালাইলে চোঙের বায়ু সংনমিত হয় এবং ইহার চাপ বৃদ্ধি পায়; ফলে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় এবং V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায়। বায়ু খোলাপথে R-পাত্রে প্রবেশ করে (58নং চিত্র)।

এইরূপ পিস্টনকে ক্রমাগত উপর-নীচ করিলে R-পাত্র ধীরে ধীরে বায়ুপূর্ণ হইবে।

সাইকেলের চাকায় হাওয়া ভর্তি করিবার পাম্প, ফুটবল পাম্প, স্টোভের পাম্প ইত্যাদি বায়ু সংনমন পাম্পের দৃষ্টান্ত।

প্রশ্নাবলী

1. বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিতে কি বুঝায়? বিভিন্ন স্থানে এই চাপ বিভিন্ন হইবার হেতু কি কি? [*M. Exam., 1988*]

2. বায়ুমণ্ডলের চাপ আছে—তাহা পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [*M. Exam., 1980, '82, 85*]

3. টরিসেলির পরীক্ষা বর্ণনা কর। এই পরীক্ষা দ্বারা বায়ুমণ্ডলের চাপ কিরূপে মাপা যায়?

4. 'বায়ুমণ্ডল প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে প্রায় 15 পাউণ্ড চাপ প্রদান করে'—এই বাক্যটি যথাযোগ্য ব্যাখ্যা করিয়া বুঝাইয়া দাও।

5. ব্যারোমিটার কাহাকে বলে? Fortin's ব্যারোমিটারের বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। ব্যারোমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা কি? [*M. Exam. 1981, '85, '87*]

6. 'কোনও স্থানে বায়ুমণ্ডলে চাপ 760 mm. পারদস্তম্ভের সমান'—ইহা বলিতে কি বুঝায়? এই চাপের পরিমাণ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে নির্ণয় কর। ঐ স্থানে $g=980$ সি. জি. এস্. একক এবং পারদের ঘনত্ব$=13{\cdot}6$ gm./c.c. [*M. Exam. 1979, '84*]

7. ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাষ কিরূপে জানা যায়? যদি ফর্টিন ব্যারোমিটারে চাপ সহসা নামিয়া যায় তবে আবহাওয়া সম্বন্ধে কি সিদ্ধান্তে আসিবে? [*M. Exam., 1979*]

8. বয়েলের সূত্র বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam. 1981, '84, '88*]

9. ব্যারোমিটারে জল ব্যবহার করা সুবিধাজনক নয় কেন তাহার দুইটি কারণ উল্লেখ কর।

10. কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ 76 cm পারদস্তম্ভ—ইহা প্রদর্শন করাইবার জন্য অংশচিহ্নিত একটি ব্যারোমিটারের চিত্র আঁক এবং ব্যাখ্যা কর।

11. বায়ুনিরুদ্ধ ঢাকনাসহ একটি পাতলা টিনের পাত্র তোমাকে দেওয়া হইল। ইহার সাহায্যে বায়ুমণ্ডল সর্বদিকে চাপ প্রয়োগ করে তাহা প্রদর্শন করিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

12. শোষণ পাম্প বর্ণনা কর। এই পাম্প দ্বারা 30 ফুটের উর্ধ্বে জল তোলা যায় না—ইহার কারণ বুঝাইয়া বল।

13. সাইফন কি? ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। সাইফন-ক্রিয়ার শর্ত কি? [*M. Exam, 1981*]

14. বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প কাহাকে বলে? উহার বিবরণ ও কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও।
[*M. Exam. 1983*]

15. বায়ু-সংনমন পাম্পের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ইহার কয়েকটি উদাহরণ দাও।
[*M. Exam. 1985, '88*]

16. ছবির সাহায্যে টিউবওয়েল পাম্পের কার্যপ্রণালীর বিবরণ দাও। ইহার সাহায্যে যে-কোন গভীরতা হইতে জল উত্তোলন সম্ভব কিনা বুঝাও। [*M. Exam. 1980, '83*]

17. একটি পিচকারীতে জল কিভাবে উঠে? [*M. Exam. 1982*]

18. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ :

(a) 50 inch দীর্ঘ এবং একমুখ বন্ধ একটি কাচনলকে পারদপূর্ণ করিয়া খোলামুখ একটি পারদপূর্ণ পাত্রের পারদের মধ্যে ডুবাইয়া খাড়াভাবে রাখা হইল। এ অবস্থায় কি ঘটিবে?

(b) উপরোক্ত নলকে ধীরে ধীরে কাত করিলে কি ঘটিবে?

(c) উপরোক্ত পরীক্ষা যদি একটি মোটা নল লইয়া করা হয় তাহা হইলে কি হইবে?

19. ব্যারোমিটারে চাপ বৃদ্ধি পাইলে, সাইফন নল দিয়া তরল নির্গমনের হার কি বৃদ্ধি পায়? সাইফনের এক বাহুতে একটি ছিদ্র হইলে কি ঘটিবে?

● **Objective type :**

20. (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত প্রত্যেকটি উক্তির সংগে একটি ব্যাখ্যা দেওয়া হইয়াছে। বল যে—(i) উক্তিটি ভুল কি নির্ভুল (ii) ব্যাখ্যার উক্তিটি ভুল কি নির্ভুল এবং (iii) ব্যাখ্যাটি ভুল কি নির্ভুল :

উক্তি	ব্যাখ্যা
(a) ব্যারোমিটারের পক্ষে পারদ একটি উপযুক্ত তরল ;	পারদের ঘনত্ব খুব উচ্চ।
(b) ব্যারোমিটারের পক্ষে জল অনুপযুক্ত তরল ;	জলীয় বাষ্প উচ্চ চাপ প্রয়োগ করে।
(c) ফোলানো বেলুন হইতে বায়ু নিষ্ক্রান্ত হইলে উহা চুপসাইয়া যায় ;	বেলুন স্থিতিস্থাপক নয়।
(d) জলাশয়ের তলা হইতে বায়ু-বুদবুদ যত উপরে ওঠে তত উহার আয়তন বৃদ্ধি পায় ;	বুদবুদের উপর চাপ ক্রমাগত হ্রাস পায়।
(e) সাইফন হইতে তরল নির্গমনের হার বায়ুমণ্ডলীয় চাপের উপর নির্ভর করে ;	বায়ুমণ্ডলীয় চাপ তরলকে সাইফন নল দিয়া উপরে উঠায়।

21. নিম্নলিখিত প্রত্যেকটি বাক্যের পাশে প্রদত্ত তিনটি বিকল্প হইতে উপযুক্ত বিকল্প বাছিয়া লইয়া বাক্যগুলি সম্পূর্ণ কর :

(a) তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিয়া, নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ বাড়াইলে উহার আয়তন—
(i) বৃদ্ধি পায়, (ii) হ্রাস পায়, (iii) অপরিবর্তিত থাকে।

(b) একটি পাত্রের মুখ বায়ুনিরুদ্ধভাবে পাতলা রবার পাত দ্বারা বন্ধ করা আছে। পাত্রস্থ বায়ু বাহির করিয়া দিলে, রবার পাতটি—(i) উপরের দিকে বাঁকিবে, (ii) নিচের দিকে বাঁকিবে, (iii) কোনদিকেই বাঁকিবে না।

(c) স্বাভাবিক বায়ুচাপ (i) 76 cm পারদস্তম্ভের সমান, (ii) 76 mm পারদস্তম্ভের সমান, (iii) 76 inches পারদস্তম্ভের সমান।

(d) ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের দ্রুত অবনতি হইলে বুঝায়—(i) ঝড় আসন্ন, (ii) সুন্দর আবহাওয়া আসন্ন, (iii) বাদল আবহাওয়া আসন্ন।

(e) সাধারণ পাম্পের বেলায়, জলাধার হইতে ব্যারেল পর্যন্ত পাইপের দৈর্ঘ্য—(i) 34 ft -এর বেশী হওয়া উচিত, (i) 34 ft-এর কম হওয়া উচিত, (iii) ঠিক 34 ft হওয়া উচিত।

অঙ্ক ঃ

22. 750 mm. চাপে নির্দিষ্ট ভরের CO_2 গ্যাসের আয়তন 300 c.c.; উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিলে কত চাপে ঐ আয়তন 600 c.c. হইবে? [Ans. 375 mm.]

23. 0°C উষ্ণতা এবং 76 cm চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাস 400 c.c. আয়তন অধিকার করে। কত চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন—(i) দ্বিগুণ, (ii) এক চতুর্থাংশ, (iii) 0.1 গুণ হইবে? তাপমাত্রা অপরিবর্তিত ধরিয়া লও।

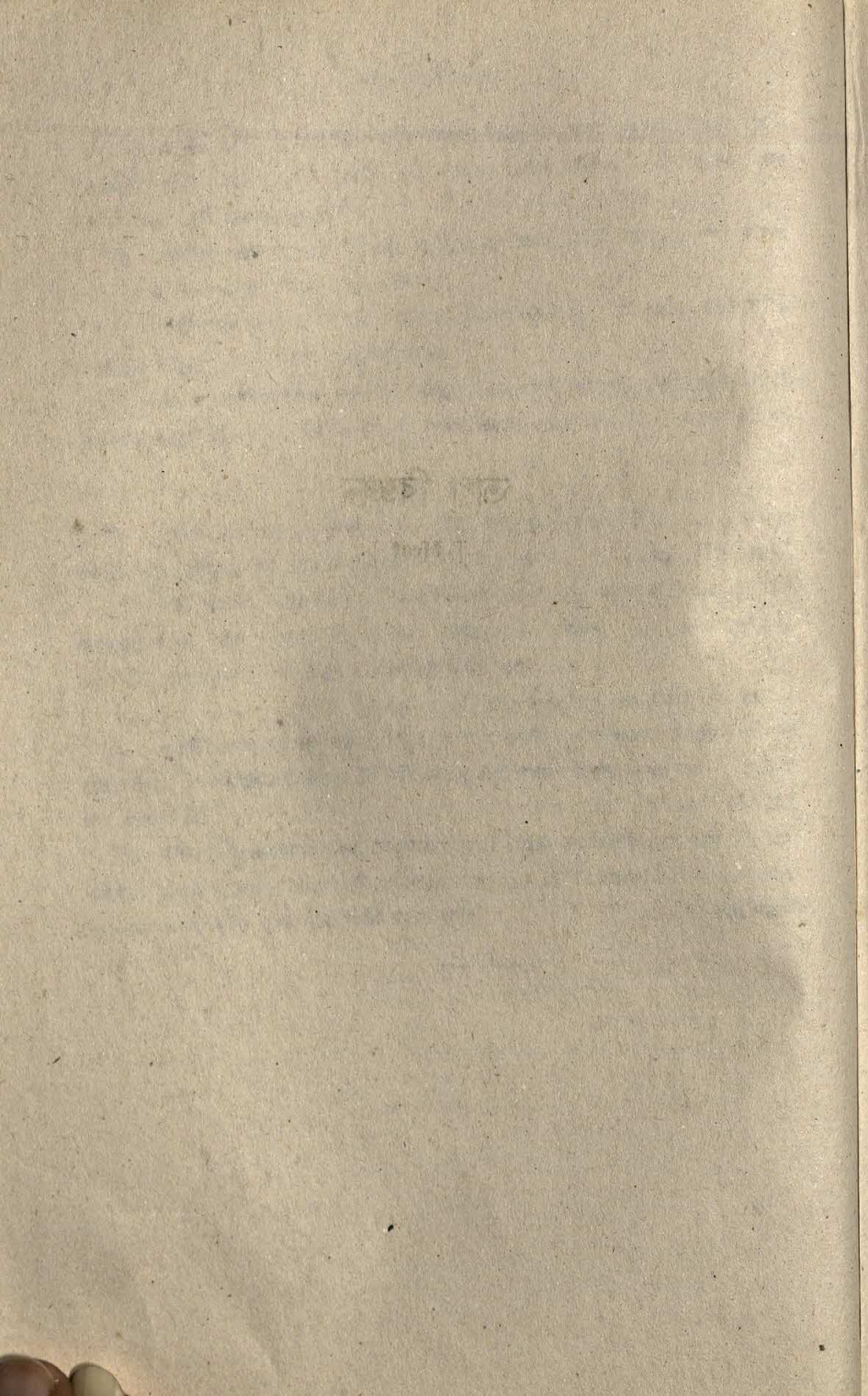
[Ans. (i) 38 cm. (ii) 304 cm. (iii) 760 mm.]

24. একটি জলাশয়ের তলা হইতে উপরে আসিতে একটি বায়ু-বুদবুদের আয়তন পাঁচগুণ বৃদ্ধি পাইল। ব্যারোমিটারের উচ্চতা 30 ইঞ্চি হইলে, জলাশয়ের গভীরতা নির্ণয় কর। পারদের আঃ গুঃ=13·6 [Ans. 136 ft.]

25. পৃথিবীপৃষ্ঠে গ্যাসভর্তি একটি বেলুনের আয়তন 1000 ঘন মিটার এবং চাপ 76 cm পারদ। একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় উঠিলে, বেলুনের আয়তন 25% বৃদ্ধি পায়। ঐ স্থানে চাপ-হ্রাস কত নির্ণয় কর। তাপমাত্রা সর্বত্র সমান আছে। [Ans. 15 cm পারদ]

তাপ বিজ্ঞান

[Heat]

প্রথম পরিচ্ছেদ

তাপ ও থার্মোমিতি

(Heat and Thermometry)

1-1. তাপ (Heat) ঃ

তাপ সম্বন্ধে আমাদের সকলেরই কিছু-না-কিছু ধারণা আছে। আগুন জ্বালাইলে তাপ পাই বা দিনের বেলায় সূর্য উঠিলে তাপ অনুভব করি, এসব কথা আমরা সকলে জানি। কোন কঠিন বস্তুর আকার ও আয়তনের মত তাপের কোন আকার বা আয়তন না থাকায় কিংবা গন্ধ, রং প্রভৃতি দ্বারা তাপকে বুঝাইবার উপায় না থাকায়, তাপকে কোন বস্তুর মাধ্যমে বুঝিতে হয়। কোন বস্তু গরম হইয়া উঠিলে আমরা ঐ বস্তুতে তাপের অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতেছে এই যে, কোন বস্তু তাপ গ্রহণ করিলে গরম হইবে এবং তাপ বর্জন করিলে ঠাণ্ডা হইবে।

সংজ্ঞা ঃ তাপকে আমরা এমন এক শক্তি বলিয়া ধরিয়া লইতে পারি যাহার গ্রহণে বস্তু গরম হইয়া ওঠে এবং বর্জনে ঠাণ্ডা হইয়া যায়।

1-2. তাপের স্বরূপ (Nature of heat) ঃ

কোন বস্তুতে তাপের উদ্ভব যদি আমরা ভালভাবে লক্ষ্য করি তবে দেখিব যে উহার জন্য কোন-না-কোন শক্তি ব্যয়িত হইয়াছে।

কয়লা পোড়াইলে তাপের উদ্ভব হয়। এস্থলে কয়লাতে সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তি তাপে পরিবর্তিত হয়।

দুইটি কঠিন বস্তুকে ঘর্ষণ করিলে তাপ সৃষ্টি হয়, আমরা জানি। ঘর্ষণের ফলে কিছু যান্ত্রিক শক্তির (mechanical energy) ব্যয় হয়। এই যান্ত্রিক শক্তিই বস্তুতে তাপের আকারে পরিবর্তিত হয়।

বৈদ্যুতিক বাতিতে বিদ্যুৎ-প্রবাহ চালাইলে বাতি আলো দেয় এবং সঙ্গে সঙ্গে তাপও প্রদান করে। এস্থলে বৈদ্যুতিক শক্তির বিনিময়ে তাপের সৃষ্টি হইতেছে।

সুতরাং তাপ সৃষ্টি করিতে হইলে শক্তির প্রয়োজন। এই কারণে তাপকে এক প্রকার শক্তি বলিয়া গণ্য করা হয়।

এই তাপশক্তির স্বরূপ সম্বন্ধে বহুপূর্বে দুইটি বিপরীত মতবাদ (theory) প্রচলিত ছিল। একটিকে বলা হইত ক্যালরিক মতবাদ (caloric theory) এবং অন্যটিকে বলা হইত যান্ত্রিক মতবাদ (mechanical theory)। পরে বহুবিধ

পরীক্ষার ফলে দেখা গেল যে, দ্বিতীয় মতবাদই তাপের স্বরূপ সঠিক নির্ণয় করিতে পারে। এই মতবাদের প্রবর্তক হইলেন কাউন্ট রামফোর্ড।

কাউন্ট রামফোর্ড কামানের নল তৈয়ারী করিবার জন্য একটি বড় ধাতুখণ্ড তুরপুন (drill) দিয়া ছেঁদা করিতেছিলেন; ছেঁদা করিবার সময় যে ছোট ছোট ধাতুর টুক্‌রা ছিটকাইয়া আসিতেছিল, তিনি দেখিলেন সেগুলি অত্যন্ত উত্তপ্ত। তিনি হিসাব করিয়া দেখিলেন যে, ছেঁদা করাইতে মোট যে তাপশক্তি উৎপন্ন হইতেছে তাহা 5 পাউণ্ড বরফ গলাইতে পারে। তিনি মনে মনে প্রশ্ন করিলেন যে, এই প্রচণ্ড তাপশক্তির সৃষ্টি কি করিয়া সম্ভব ইহল ?

তখন তিনি স্থির করিলেন যে, ধাতুখণ্ডের ভিতর তুরপুন চালাইতে যে যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হইয়াছে তাহাই তাপশক্তি সৃষ্টির কারণ। এই যান্ত্রিক শক্তি ধাতুখণ্ডের অণু-পরমাণুগুলির গতিশক্তি (kinetic energy) বৃদ্ধি করে এবং অণু-পরমাণুর এই বর্ধিত গতিশক্তিই বস্তুতে তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

কাজেই তাপকে একপ্রকার 'গতির রূপ' (mode of motion) বলিয়া ধরা যাইতে পারে।

1-3. তাপের প্রকার ভেদ (Different kind of heat) **ঃ**

তাপ প্রধানত তিনপ্রকার ; যথা ঃ (i) **বোধগম্য তাপ** (ii) **লীনতাপ** এবং (iii) **বিকীর্ণ তাপ**।

বোধগম্য তাপ ঃ যে-তাপ কোন বস্তুর তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটায় তাহাকে সাধারণভাবে বোধগম্য তাপ বলে। বোধগম্য তাপের জন্য বস্তুর তাপমাত্রার পরিবর্তন থার্মোমিটারের সাহায্যে নির্ধারণ করা যায়।

লীনতাপ ঃ যে-তাপ বস্তুর তাপমাত্রার পরিবর্তন না ঘটাইয়া অবস্থার পরিবর্তন ঘটায় অর্থাৎ কঠিনকে তরলে বা তরলকে বাষ্পে পরিণত করে, তাহাকে লীনতাপ বলে। যেমন, বরফ গলনের লীনতাপ, স্টীমের লীনতাপ ইত্যাদি।

বিকীর্ণ তাপ ঃ যে-তাপ কোন উৎস হইতে (যেমন, সূর্য) বিকিরণ পদ্ধতিতে আমাদের কাছে আসে, তাহাকে বিকীর্ণ তাপ বলে। বিকীর্ণ তাপের সঙ্গে আলোর সাদৃশ্য আছে।

1-4. তাপের ফল (Effects of heat) **ঃ**

কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে নিম্নলিখিত ফল দেখিতে পাওয়া যায় ঃ

(1) **তাপমাত্রার পরিবর্তন ঃ** তাপ প্রয়োগে বস্তু গরম হইয়া পড়ে অর্থাৎ বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। ইহার উদাহরণ আমাদের প্রায়ই চোখে পড়ে। একটি পাত্রে খানিকটা জল লইয়া আগুনে ধরিলে কিছুক্ষণের মধ্যেই জল বেশ উষ্ণ হইয়া পড়ে।

(2) **অবস্থার পরিবর্তন ঃ** তাপ প্রয়োগে পদার্থের অবস্থার পরিবর্তন হয় অর্থাৎ কঠিন পদার্থ তরলে অথবা তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত হয়।

বরফের একটি টুক্‌রা লইয়া তাপ প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে যে টুক্‌রাটি গলিয়া জলে পরিণত হয়। ঐ জলকে আরও বেশী উত্তপ্ত করিলে জল বাষ্পে পরিণত হয়।

(3) **রাসায়নিক পরিবর্তন ঃ** অনেক ক্ষেত্রে তাপ প্রয়োগের ফলে রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়। যেমন, কয়লাকে উত্তপ্ত করিলে কয়লার কার্বন বায়ুর অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড তৈয়ারী করে।

(4) **দহন ও প্রাণনাশ ঃ** তাপের দাহিকা শক্তি আছে একথা আমরা সকলেই জানি। কয়লা, তৈল, জ্বালানী প্রভৃতি তাপ-প্রয়োগে জ্বলে ইহা আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতা। অতিরিক্ত তাপ প্রয়োগে লতাপাতা, প্রাণী, এমন কি মানুষের প্রাণনাশ হয়।

(5) **আলোকের উৎপত্তি ঃ** অতিরিক্ত তাপ-প্রয়োগে যখন বস্তু শ্বেত-তপ্ত (white hot) হয় তখন ঐ বস্তু হইতে আলোর সৃষ্টি হয়। তাছাড়া দাহ্য বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলেও আলোক উৎপন্ন হয়।

1-5. তাপমাত্রা (Temperature) ঃ

গরম ও ঠাণ্ডা বোধ আমাদের সকলেরই আছে। বরফে হাত দিলে আমাদের ঠাণ্ডা বোধ হয় কিন্তু উত্তপ্ত লোহার টুক্‌রাতে হাত দিলে গরম বোধ হয়। যে বস্তুতে হাত দিলে গরম লাগে তাহার তাপমাত্রা বেশী বলা হয় আর যে বস্তু ঠাণ্ডা বলিয়া মনে করি তাহার তাপমাত্রা কম বলা হয়।

কিন্তু তাই বলিয়া তাপ বেশী হইলেই যে তাপমাত্রা বেশী হইবে তাহার কোন অর্থ নাই। যেমন, একটি দেশলাইয়ের জ্বলন্ত কাঠি ও এক গামলা ফুটন্ত জলের কথা ধরা যাউক। দেশলাই কাঠির তাপমাত্রা গামলার ফুটন্ত জল অপেক্ষা অনেক বেশী কিন্তু দেশলাই কাঠির মোট তাপ গামলার জলের মোট তাপ অপেক্ষা অনেক কম।

তাপ-বিজ্ঞানে 'তাপমাত্রা' কথাটি এতই প্রয়োজনীয় যে ইহার বিস্তারিত আলোচনা প্রয়োজন।

একটি উত্তপ্ত লোহার বলকে যদি এক বালতি ঠাণ্ডা জলে ছাড়িয়া দেওয়া যায়, তবে দেখা যায় যে লোহার বলটি আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা হইতেছে এবং জল আস্তে আস্তে গরম হইতেছে। এরূপ কখনও দেখা যায় না যে উত্তপ্ত বল আরও উত্তপ্ত হইতেছে এবং ঠাণ্ডা জল আরও ঠাণ্ডা হইতেছে। ইহার কারণ এই যে গোড়াতে উত্তপ্ত বলটির তাপমাত্রা ঠাণ্ডা জল অপেক্ষা বেশী হওয়ায়, উত্তপ্ত

বল ঠাণ্ডা জলকে তাপ প্রদান করিয়াছে এবং জলের তাপমাত্রা কম থাকাতে জল সেই তাপ গ্রহণ করিয়াছে।

সংজ্ঞা ঃ তাপমাত্রা বস্তুর উষ্ণতার মাত্রা (degree of hotness) বুঝায়। **তাপমাত্রা বস্তুর এমন এক তাপীয় (thermal) অবস্থা যাহা হইতে আমরা বুঝি যে ঐ বস্তুটি অন্য বস্তুকে তাপ দিবে কিংবা অন্য বস্তু হইতে তাপ গ্রহণ করিবে।**

এ সম্পর্কে তাপমাত্রাকে তরলের তলের (level) সঙ্গে তুলনা করা যাইতে পারে। আমরা জানি যে উচ্চতল হইতে জল সর্বদা নিম্নতলে প্রবাহিত হয়। উল্টাদিকে কখনও প্রবাহিত হয় না। অর্থাৎ, তলদ্বারা বুঝিতে পারি যে জলপ্রবাহ কোন্ দিকে যাইবে। তাপমাত্রাও তেমনি বুঝাইয়া দেয় কোন্ বস্তু হইতে কোন্ বস্তুতে তাপের প্রবাহ হইবে।

যখন A বস্তু B বস্তুকে তাপ প্রদান করে তখন বলা হয় A বস্তুর তাপমাত্রা B বস্তু অপেক্ষা বেশী এবং উল্টা প্রবাহ হইলে বলা হয় B বস্তুর তাপমাত্রা A বস্তু হইতে বেশী।

1-6. তাপ ও তাপমাত্রার পার্থক্য ঃ

(1) তাপ একপ্রকার শক্তি। কিন্তু তাপমাত্রা বস্তুর এক তাপীয় (thermal) অবস্থা।

(2) যখন কোন বস্তু তাপ গ্রহণ করে, তখন উহার তাপমাত্রা বাড়ে এবং যখন তাপ ছাড়িয়া দেয় তখন উহার তাপমাত্রা কমে। অর্থাৎ, তাপকে কারণ (cause) বলা হইলে তাপমাত্রা হইল উহার ফল (effect)।

(3) কিছু পরিমাণ জলের সহিত তলের (level) যে-তফাত তাপের সহিত তাপমাত্রারও সেই তফাত।

(4) দুই বস্তুর এক তাপমাত্রা হইলে উহাদের যে সম-পরিমাণ তাপ থাকিবে তাহার কোন স্থিরতা নাই। আবার দুই বস্তুর সম-পরিমাণ তাপ থাকিলে উহাদের তাপমাত্রা এক হইবে তাহারও কোন স্থিরতা নাই।

1-7. তাপমাত্রামাপক যন্ত্র বা থার্মোমিটার ঃ

কোন বস্তু উত্তপ্ত কি ঠাণ্ডা তাহা আমরা স্পর্শ করিয়া বুঝিতে পারি। কিন্তু স্পর্শানুভূতির বিচার সর্বদা অভ্রান্ত বা সূক্ষ্ম হয় না। যেমন, শীতপ্রধান দেশের লোক আমাদের দেশে আসিলে খুব বেশী গরম বোধ করিবে। কিন্তু আমরা এ-দেশে থাকিতে অভ্যস্ত বলিয়া তত গরম বোধ করি না। আবার আমরা শীতের দেশে গেলে খুব বেশী ঠাণ্ডা বোধ করিব।

এক বালতি গরম জলে কিছুক্ষণ হাত ডুবাইয়া রাখিয়া ঠাণ্ডা জলে হাত ডুবাও। জল খুব বেশী ঠাণ্ডা লাগিবে। তেমনি ঠাণ্ডা জলে কিছুক্ষণ হাত ডুবাইয়া রাখিয়া গরম জলে ডুবাইলে জল খুব গরম লাগিবে।

কাজেই অনুভূতির বিচার নির্ভুল নয়। তাছাড়া তাপমাত্রার সূক্ষ্ম পরিমাপ স্পর্শ দ্বারা হইতে পারে না। এজন্য যন্ত্রের প্রয়োজন।

যে যন্ত্রের সাহায্যে বস্তুর তাপমাত্রা মাপা যায় তাহাকে তাপমাত্রামাপক যন্ত্র বা **থার্মোমিটার** বলে।

1-8. পারদ-থার্মোমিটার (Mercury-in-glass thermometer) :

যে-থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহৃত হয় তাহাকে পারদ-থার্মোমিটার বলে। এই ধরনের থার্মোমিটারের ব্যবহার খুব বেশী দেখা যায়। থার্মোমিটারে অন্যান্য তরল অপেক্ষা **পারদ ব্যবহারের কতকগুলি সুবিধা আছে।** যথা :—

(1) তাপমাত্রার পরিবর্তনে পারদের আয়তনের পরিবর্তন খুব নিয়মানুগ (regular) ; ইহা তাপমাত্রার অনেক দূর-পাল্লা (wide-range) পর্যন্ত প্রসারিত।

(2) কোন বস্তুর তাপমাত্রা লাভ করিতে পারদ উক্ত বস্তু হইতে অন্যান্য তরলের তুলনায় খুব কম তাপ গ্রহণ করে। ফলে বস্তুর নিজের তাপমাত্রার বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না অথচ থার্মোমিটার বস্তুর তাপমাত্রা দেখাইয়া দেয়।

(3) নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ভেদে পারদের আয়তন বৃদ্ধি অন্যান্য তরল অপেক্ষা বেশী। সুতরাং পারদ-থার্মোমিটার দ্বারা তাপমাত্রা খুব সূক্ষ্মভাবে মাপা হয়।

(4) পারদ প্রায় 350° সেলসিয়াসে বাষ্প হয় এবং −39° সেলসিয়াসে জমিয়া যায়। সুতরাং এই বিস্তীর্ণ পাল্লায় পারদ তরল থাকে এবং ইহার ভিতর যে-কোন তাপমাত্রা মাপিতে পারা যায়।

(5) পারদ সহজেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়।

(6) বিশুদ্ধ পারদ কাচ ভিজায় না। সুতরাং কাচনলের গায়ে পারদ আটকাইয়া থাকিবে না।

(7) পারদ অস্বচ্ছ ও চক্‌চকে বলিয়া কাচের ভিতর দিয়া ইহাকে স্পষ্ট দেখা যায়।

পারদ থার্মোমিটারের বিবরণ : 1 নং চিত্রে পরীক্ষাগারে বহুল-ব্যবহৃত একটি পারদ-থার্মোমিটারের চিত্র দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি সর্বত্র সমান ব্যাসের সূক্ষ্ম রন্ধ্র-বিশিষ্ট শক্ত কাচের নল। রন্ধ্রের একপ্রান্তে একটি চোঙাকৃতি কুণ্ড আছে এবং অপর প্রান্ত বন্ধ। কুণ্ড এবং রন্ধ্রের খানিকটা অংশ পারদপূর্ণ। কাচ-নলের গায়ে তাপমাত্রার স্কেল অঙ্কিত। যে বস্তুর তাপমাত্রা মাপিতে হয় উহার সহিত কুণ্ডটির সংস্পর্শ ঘটাইলে, পারদ আয়তনে বাড়িয়া যে-দাগ পর্যন্ত পৌঁছাইবে তাহাই হইবে বস্তুর তাপমাত্রা।

থার্মোমিটার নির্মাণ প্রণালী ঃ একটি সমান ব্যাসের সরু রন্ধ্রবিশিষ্ট শক্ত কাচনল লও। নলটির দুইমুখ খোলা থাকিবে। একমুখ আগুনে গলাইয়া অন্য মুখে ফুঁ দিয়া একটি চোঙাকৃতি কুণ্ড A তৈয়ারী কর [2 নং চিত্র]। অন্যমুখে রবার নল দিয়া একটি ফানেল F আটকাও। ইহার একটু নীচে কাচনলের দেওয়াল গরম করিয়া চাপিয়া দাও যাহাতে ঐ স্থানের রন্ধ্র একটু বেশী সরু হয় [চিত্রে C অংশ]। এখন ফানেলে কিছু বিশুদ্ধ পারদ লও। কাচনলের রন্ধ্র খুব সরু এবং বায়ুপূর্ণ বলিয়া পারদ রন্ধ্র বাহিয়া কুণ্ডে আসিতে পারিবে না। কুণ্ড পারদপূর্ণ করিতে নিম্নলিখিত পন্থা অবলম্বন করিতে হইবে।

A-কুণ্ডকে গরম কর। রন্ধ্রের বায়ু আয়তনে বাড়িয়া পারদের ভিতর বুদ্‌বুদ্‌ সৃষ্টি করিয়া বাহির হইয়া যাইবে। কুণ্ডকে এখন ঠাণ্ডা করিলে খানিকটা পারদ কুণ্ডে আসিয়া জমা হইবে। পুনরায় A-কুণ্ডকে গরম কর যাহাতে কুণ্ডের পারদ ফুটিতে থাকে। পারদের বাষ্প রন্ধ্রের সব বায়ু ও জলীয় বাষ্প ইত্যাদি ঠেলিয়া বাহির করিয়া দিবে। কুণ্ডকে এইবার ঠাণ্ডা করিলে আরও কিছু পারদ কুণ্ডে জমা হইবে। এইরূপ পর্যায়ক্রমে কুণ্ডকে গরম ও ঠাণ্ডা করিতে হইবে যতক্ষণ না কুণ্ড ও রন্ধ্রের খানিকটা অংশ পারদপূর্ণ হয়।

F
C
A

থার্মোমিটার নির্মাণ কৌশল
চিত্র নং 2

100°
90°
80°
70°
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0°
10°

পারদ থার্মোমিটার
চিত্র নং 1

অতঃপর থার্মোমিটার সর্বাধিক যে-তাপমাত্রা নির্ণয় করিবে তাহা অপেক্ষা কিছু বেশী তাপমাত্রায় কুণ্ডকে রাখিতে হইবে। ফলে পারদ আয়তনে বাড়িয়া ফানেল পর্যন্ত পৌঁছাইবে। এই অবস্থায় ফানেল হইতে অতিরিক্ত পারদ সরাইয়া কুণ্ডকে আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা কর। পারদ আয়তনে কমিয়া যখন C অংশে পৌঁছাইবে তখন ঐ স্থান গরম করিয়া গলাইয়া বন্ধ কর। এখন সমস্ত নলটিকে ঠাণ্ডা করিলে পারদ সঙ্কুচিত হইয়া কুণ্ড ও রন্ধ্রের কিছু অংশ অধিকার করিবে। এইরূপে পারদ-থার্মোমিটার তৈরী হয়।

1-9. কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় ঃ

(i) থার্মোমিটার লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে রন্ধ্রের সর্বোচ্চ দাগের পর একটি ছোট কুণ্ড আছে [চিত্র 1]। ইহা থার্মোমিটারের পক্ষে একটি নিরাপত্তামূলক ব্যবস্থা। কখনও কোন কারণে যদি থার্মোমিটার কুণ্ডকে অতিরিক্ত উত্তপ্ত করা হয় যাহাতে পারদসূত্র থার্মোমিটারের সর্বোচ্চ দাগ ছাড়াইয়া যায় তাহা হইলে

পারদ ঐ ছোট কুণ্ডে আসিয়া জমা হয়। কুণ্ডটি না থাকিলে পারদের চাপে থার্মোমিটার ভাঙ্গিয়া যাইতে পারে।

(ii) থার্মোমিটার নির্মাণের সময় লক্ষ্য রাখিতে হইবে যাহাতে থার্মোমিটার **সুবেদী** (sensitive) এবং দ্রুত **ক্রিয়াশীল** (quick acting) হয় অর্থাৎ সামান্য তাপমাত্রার পরিবর্তনে থার্মোমিটারের তরলসূত্রের যথেষ্ট প্রসারণ হয় এবং থার্মোমিটার খুব দ্রুত তাপমাত্রার পরিবর্তন দেখাইতে সক্ষম হয়।

থার্মোমিটার **কুণ্ডের আকার** বৃদ্ধি করিলে থার্মোমিটার সুবেদী হইবে। কারণ ঐ কুণ্ডে বেশী আয়তনের তরল থাকিবে এবং প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা পরিবর্তনে ঐ তরলের প্রসারণ বেশী হইবে। **রন্ধ্র খুব সরু** হইলেও থার্মোমিটার সুবেদী হয়; রন্ধ্র যত সরু হইবে নির্দিষ্ট আয়তন বৃদ্ধিতে তরলসূত্র নল বাহিয়া তত বেশী অগ্রসর হইবে। তাছাড়া, থার্মোমিটার সুবেদী করিতে হইলে, উচ্চ প্রসারণ-গুণাঙ্কযুক্ত তরল ব্যবহার করিতে হইবে।

থার্মোমিটারকে দ্রুত **ক্রিয়াশীল** করিতে হইলে, কুণ্ডের কাচ পাতলা করিতে হইবে এবং কুণ্ড সাইজে ছোট করিতে হইবে। কারণ, তাহা হইলে, কুণ্ডের পারদ দ্রুত বস্তু হইতে তাপ সংগ্রহ করিয়া বস্তুর তাপমাত্রা লাভ করিবে। তাছাড়া, থার্মোমিটারের তরল পদার্থকে তাপের সুপরিবাহী হইতে হইবে যাহাতে তরলের সর্বত্র তাপ দ্রুত ছড়াইয়া পড়িতে পারে।

(iii) একটি গোলাকার কুণ্ডযুক্ত এবং আর একটি সমআয়তনের চোঙাকৃতি কুণ্ডযুক্ত থার্মোমিটার লইয়া উহাদের কার্যপ্রণালী তুলনা করিলে দেখা যাইবে যে দ্বিতীয়টি প্রথমটি অপেক্ষা দ্রুত তাপমাত্রার পরিবর্তন প্রদর্শন করিতেছে। ইহার কারণ এই যে, আয়তন সমান হইলে, গোলাকার কুণ্ডের ক্ষেত্রফল চোঙাকৃতি কুণ্ডের ক্ষেত্রফল অপেক্ষা বেশী। ইহার ফলে, গোলাকার কুণ্ডে তাপ দ্রুত পরিবাহিত হইতে পারে না। সুতরাং থার্মোমিটারকে দ্রুত ক্রিয়াশীল করিতে হইলে, উহার কুণ্ড চোঙাকৃতি করা বাঞ্ছনীয়।

1-10. থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক (Fixed points of a thermometer) **:** তাপমাত্রা নির্ণয়ের স্কেল তৈয়ারী করিতে গেলে সর্বপ্রথম স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে। দুইটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় থার্মোমিটারের পারদ কোথায় গিয়া দাঁড়ায় তাহাই হইল থার্মোমিটারের দুইটি স্থিরাঙ্ক। যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ গলে অথবা জল জমিয়া বরফ হয় তাহাকে নিম্ন-স্থিরাঙ্ক (lower fixed point) অথবা **হিমাঙ্ক** (freezing point or ice point) বলে এবং স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে বিশুদ্ধ জল যে-তাপমাত্রায় ফুটিতে থাকে তাহাকে **ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক** (upper fixed point) বা **স্ফুটনাঙ্ক** (boiling point or steam point) বলে।

1-11. থার্মোমিটার স্কেল ঃ

স্থিরাঙ্ক দুইটির মধ্যবর্তী তাপমাত্রার ব্যবধানকে বলা হয় **প্রাথমিক অন্তর** বা Fundamental interval (F. I.)। এই ব্যবধানকে বিভিন্ন উপায়ে ভাগ করিয়া বিভিন্ন থার্মোমিটার স্কেল তৈয়ারী করা হয়। তাপমাত্রা নির্ণয়ের জন্য আমাদের দেশে দুই রকম থার্মোমিটার স্কেল চালু আছে।

সেলসিয়াস ও ফারেন-হাইট স্কেল
চিত্র নং 3

(ক) সেলসিয়াস স্কেল, (খ) ফারেনহাইট স্কেল।

(ক) **সেলসিয়াস স্কেল ঃ** এই স্কেল অনুযায়ী নিম্ন-স্থিরাঙ্ক 0° ডিগ্রী এবং ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক 100° ডিগ্রী ধরা হয়। মধ্যবর্তী স্থানকে 100 সমানভাবে ভাগ করা হয়। প্রত্যেক ভাগকে এক সেলসিয়াস ডিগ্রী বলা হয়।

(খ) **ফারেনহাইট স্কেল ঃ** এই স্কেল অনুযায়ী নিম্ন-স্থিরাঙ্ককে 32° ডিগ্রী এবং ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ককে 212° ডিগ্রী ধরা হয়। মধ্যবর্তী স্থানকে সমান 180 ভাগে ভাগ করা হয়; সুতরাং এই স্কেল অনুযায়ী 0° নিম্ন-স্থিরাঙ্কের 32 ঘর নীচে।

3 নং চিত্রে দুই স্কেলের ছবি দেখানো হইল।

এই প্রসঙ্গে প্রশ্ন করা যাইতে পারে যে, **থার্মোমিটার নলটির প্রস্থচ্ছেদ** সর্বত্র সমান না হইলে ক্ষতি কি? প্রস্থচ্ছেদ অসমান হইলে অর্থাৎ নল কোথাও সরু বা মোটা হইলে একই তাপমাত্রাভেদে পারদ-সূত্র নলের সর্বত্র সমানভাবে অগ্রসর হইবে না। মোটা জায়গায় কম অগ্রসর হইবে এবং সরু জায়গায় বেশী অগ্রসর হইবে। নলটির অংশাঙ্কন (graduation) সর্বত্র সমান হইলে এই ধরনের থার্মোমিটারের দ্বারা তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে মাপা যাইবে না। তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে মাপিতে হইলে প্রস্থচ্ছেদ অনুযায়ী ডিগ্রী দাগ কাটিতে হইবে। মোটা জায়গায় ডিগ্রীর দৈর্ঘ্য কম করিতে হইবে এবং সরু জায়গায় বেশী করিতে হইবে। কিন্তু এই ধরনের অংশাঙ্কন ব্যয়বহুল এবং শ্রমসাধ্য। তাই সমান প্রস্থচ্ছেদের নল লওয়া হয়, কারণ, সেক্ষেত্রে অংশাঙ্কন খুব সহজে করা যায়।

দুই স্কেলের সম্বন্ধ ঃ পূর্বোক্ত স্কেল দুইটি হইতে বোঝা যায় যে একই তাপমাত্রার ব্যবধান সেলসিয়াসে 100 ভাগ এবং ফারেনহাইটে 180 ভাগে ভাগ করা হইয়াছে। এই দুই স্কেলের ভিতর যে পারস্পরিক সম্বন্ধ আছে তাহা নিম্নরূপে নির্ণয় করা যায়।

ধরা যাউক, কোন তাপমাত্রা সেলসিয়াস স্কেলে C এবং ফারেনহাইট F হইল।

এখানে সেলসিয়াস স্কেলে 1° অথবা 1 দাগ=হিমাঙ্ক হইতে স্ফুটনাঙ্ক পর্যন্ত তাপমাত্রার ব্যবধানের $\frac{1}{100}$ ভাগ।

সুতরাং C সেলসিয়াস ডিগ্রী=ঐ তাপমাত্রার ব্যবধানের $\frac{C}{100}$ ভাগ

এখন ফারেনহাইট স্কেলে পারদ F দাগ পর্যন্ত পৌঁছানো মানে হিমাঙ্ক হইতে $(F-32)$ ঘর যাওয়া।

1 ফারেনহাইট ডিগ্রী=হিমাঙ্ক হইতে স্ফুটনাঙ্ক পর্যন্ত তাপমাত্রার $\frac{1}{180}$ ভাগ

সুতরাং $F-32$,, = ,, ,, ,, ,, ,, $\frac{F-32}{180}$ ভাগ

যেহেতু তাপমাত্রার ব্যবধান দুই স্কেলেই সমান ; অতএব

$$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180} \quad \text{অতএব,} \quad \frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}.$$

উদাহরণ : (1) কোন দিনের তাপমাত্রা 94° ডিগ্রী ফারেনহাইট। সেলসিয়াসে ঐ তাপমাত্রা কত ?

উঃ। আমরা জানি, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$; এস্থলে $F=94^\circ$

সুতরাং $\frac{C}{5}=\frac{94-32}{9}=\frac{62}{9}$

অথবা, $C=\frac{62\times 5}{9}=\frac{310}{9}=34{\cdot}4^\circ$

(2) কোন্ উষ্ণতায় সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট থার্মোমিটারের পাঠ একই হইবে ? [*M. Exam., 1979*]

উঃ। ধর, নির্ণেয় তাপমাত্রা t°C অথবা t°F,.

এখন, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$ কিন্তু $C=F=t$;

কাজেই $\frac{t}{5}=\frac{t-32}{9}$ অথবা, $9t=5t-160 \quad \therefore \quad t=-40$

অতএব নির্ণেয় তাপমাত্রা -40°C অথবা -40°F

(3) একটি ফারেনহাইট থার্মোমিটারের নিম্ন স্থিরাঙ্ক নির্ভুলভাবে দাগ কাটা আছে। ইহার নলের প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সুষম। যখন একটি প্রমাণ সেলসিয়াস থার্মোমিটার 25° পাঠ দেয় তখন ঐ ফারেনহাইট 76·5° পাঠ দেয়। প্রমাণ চাপে ফুটন্ত জলে এই থার্মোমিটার কত পাঠ দিবে?

উঃ। প্রমাণ চাপে ফুটন্ত জলে প্রমাণ সেলসিয়াস থার্মোমিটার 100° পাঠ দেয়। কাজেই সেলসিয়াস থার্মোমিটারে প্রাথমিক অন্তর $=100°C$; ফুটন্ত জলে ফারেনহাইট থার্মোমিটার F° পাঠ দিলে, ইহার প্রাথমিক অন্তর $=F-32$

$$\therefore \quad \frac{76{\cdot}5-32}{F-32}=\frac{25}{100} \text{ অথবা, } \frac{44{\cdot}5}{F-32}=\tfrac{1}{4} \text{ অথবা, } F-32=178$$

$$\therefore \quad F=210°$$

(4) কোন অজ্ঞাত স্কেলের থার্মোমিটার হিমাঙ্ক $-20°$ দেখাইতেছে এবং স্ফুটনাঙ্ক 80° দেখাইতেছে। 50° ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা ঐ থার্মোমিটারে কত দেখাইবে?

উঃ। ধরা যাউক, থার্মোমিটার $t°$ দেখাইতেছে। আমরা জানি,

$$\frac{C}{100}=\frac{t-(-20)}{80-(-20)};$$

এখানে $C=50°C$, কাজেই $\dfrac{50}{100}=\dfrac{t+20}{100}$

অথবা, $t=30°$

(5) একটি থার্মোমিটারের প্রাথমিক অন্তর 80টি সমান ঘরে এবং আর একটির প্রাথমিক অন্তর 120টি সমান ঘরে বিভক্ত। প্রথমটির নিম্নস্থিরাঙ্ক 0-তে; দ্বিতীয়টির 60 ঘরে অঙ্কিত; কোন তাপমাত্রায় দ্বিতীয় থার্মোমিটারের পাঠ 100° হইলে প্রথম থার্মোমিটারের পাঠ কত হইবে?

উঃ। ধর, প্রথম থার্মোমিটার যে তাপমাত্রা প্রদর্শন করিতেছে তাহা t_1
এবং দ্বিতীয় ,, ,, ,, ,, ,, ,, t_2

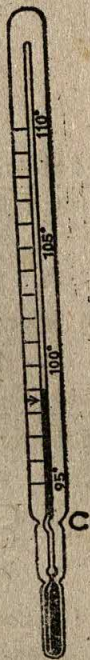
অতএব, আমরা লিখিতে পারি, $\dfrac{t_1-0}{80}=\dfrac{t_2-60}{120}$;

এস্থলে $t_2=100°$; কাজেই, $\dfrac{t_1-0}{80}=\dfrac{100-60}{120}=\dfrac{40}{120}$

$$\text{অথবা, } t_1=\frac{40\times 80}{120}=26{\cdot}6° \text{ (প্রায়)}$$

সুতরাং প্রথম থার্মোমিটার 26·6° তাপমাত্রা প্রদর্শন করিবে।

1-12. ডাক্তারি বা ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটার (Clinical thermometer) : ডাক্তারেরা শরীরের তাপ (জ্বর) পরীক্ষা করিবার জন্য এই থার্মোমিটার ব্যবহার করেন। ইহা একটি ফারেনহাইট থার্মোমিটার। এই থার্মোমিটারে 95° হইতে 110° ডিগ্রী ফারেনহাইট পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে ; কারণ মানুষের দেহের তাপমাত্রা ইহার ভিতরে উঠানামা করে। 98·4° ডিগ্রীর কাছাকাছি একটি দাগ দেওয়া থাকে। উহা স্বাভাবিক ও সুস্থ দেহের তাপমাত্রা বুঝায়। থার্মোমিটারে কুণ্ডটির কাছে রন্ধ্র খুব সঙ্কুচিত এবং একটু বাঁকা (চিত্রের C অংশ)। ইহার ফলে মানুষের দেহের তাপমাত্রা অনুযায়ী পারদ সঙ্কুচিত স্থান দিয়া অনায়াসে আয়তনে বাড়িয়া অগ্রসর হইবে কিন্তু দেহের বাহিরে থার্মোমিটার আনিলে পারদ ঐ স্থান দিয়া কুণ্ডে ফিরিয়া আসিতে পারে না। সুতরাং তাপমাত্রা পড়িবার সুবিধা হয়। পুনরায় থার্মোমিটার ব্যবহার করিতে হইলে পারদ কুণ্ডে ফিরাইয়া আনিতে হইবে এবং তাহার জন্য থার্মোমিটারে ঝাঁকুনি দিতে হয়। 4নং চিত্রে একটি এই ধরনের থার্মোমিটার দেখানো হইয়াছে।

110° 105° 100° 95° C

ডাক্তারী থার্মোমিটার
চিত্র নং 4

এই থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী সাধারণ পারদ থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালীর অনুরূপ। সম্প্রতি ডাক্তারী থার্মোমিটার সেলসিয়াস স্কেল অনুযায়ী দাগ কাটা হইতেছে। এই থার্মোমিটারে 35°C হইতে 43°C পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে। সুস্থ মানুষের দেহের তাপমাত্রা 36·9°C.

এই থার্মোমিটার কখনও ফুটন্ত জলে ডুবানো উচিত নয়। কারণ ফুটন্ত জলের তাপমাত্রা 43°C বা 110°F-এর অনেক বেশী। ফুটন্ত জলে ডুবাইলে পারদ এত বেশী প্রসারিত হইবে এবং থার্মোমিটার নলে এত বেশী চাপ দিবে যে থার্মোমিটার ফাটিয়া যাইবে।

প্রশ্নাবলী

1. তাপ কি? তাপ ও তাপমাত্রার ভিতর প্রভেদ কি?
[*M. Exam., 1979, '81 '85, '88*]

2. থার্মোমিটার কাহাকে বলে? পারদ থার্মোমিটার নির্মাণের প্রণালী বর্ণনা কর। থার্মোমিটার রন্ধ্র সমান ব্যাসযুক্ত না হইলে ক্ষতি কি? [*M. Exam., 1980, '82, '84*]

3. থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক কাহাকে বলে? 'প্রাথমিক অন্তর' বলিতে কি বোঝ?

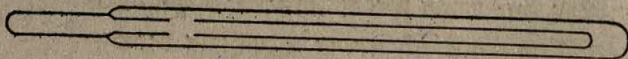
4. থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা কি? পারদ ছাড়া অন্য কি তরল ব্যবহার করা যায়? [M. Exam., 1979, '80; '82, '84]

5. কত রকমের থার্মোমিটার স্কেল আছে? উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর। [M. Exam., 1980, '81, '82, '85]

6. একটি পারদ-থার্মোমিটারের নির্মাণ-কৌশল বর্ণনা কর। [M. Exam., 1982, '87]

7. ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটার বর্ণনা কর এবং উহার ব্যবহার উল্লেখ কর। জনৈক নার্স একটি ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটার ফুটন্ত জলের দ্বারা পরিষ্কার করিল; পরে দেখা গেল যে থার্মোমিটারটি অকেজো হইয়া গিয়াছে। এইরূপ কেন হইল ব্যাখ্যা কর। [M. Exam., 1979, '81]

8. একটি ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটারের বর্ণনা দাও। সাধারণ পারদ থার্মোমিটার ও ক্লিনিকাল থার্মোমিটারের মধ্যে প্রভেদ কি? [M. Exam, 1985. '88]

9. 4(a) নং চিত্রে একটি ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটারের অসম্পূর্ণ চিত্র দেওয়া আছে। চিত্রটি সম্পূর্ণ কর এবং বল যে কেন থার্মোমিটার কুণ্ডটি পাতলা কাচ দিয়া তৈরী করা হয়? থার্মোমিটারকে দ্বিতীয়বার ব্যবহার করিতে হইলে কি করা হয়?

চিত্র 4(a)

10. ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটারের লেবেল করা চিত্র আঁক। উহার নলের গায়ে (i) থার্মোমিটারের তাপমাত্রার পাল্লা উল্লেখ কর, (ii) মানুষের স্বাভাবিক তাপমাত্রা চিহ্নিত কর। নলের এক জায়গায় রন্ধ্র একটু সরু করা থাকে কেন?

- **Objective type :**

11. *(a)* হইতে *(e)* পর্যন্ত প্রত্যেকটি উক্তির পাশে একটি করিয়া ব্যাখ্যা দেওয়া আছে। ব্যাখ্যাটি ভুল কি নির্ভুল তাহা বল এবং একটিমাত্র বাক্যে তোমার উত্তরের কারণ দেখাও ঃ

উক্তি	ব্যাখ্যা
(a) থার্মোমিটারে পারদ একটি উপযুক্ত তরল পদার্থ।	পারদের প্রসারণগুণাঙ্ক অ্যালকোহল অপেক্ষা অনেক বেশী।
(b) একটি ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটারকে ফুটন্ত জলে ডুবানো উচিত নয়।	ফুটন্ত জলের তাপমাত্রায় কাচ ফাটিয়া যায়।
(c) থার্মোমিটারকে সুবেদী করিতে হইলে, নলের রন্ধ্র খুব সরু হওয়া উচিত।	নির্দিষ্ট আয়তনের বেলায় পারদসূত্র সরু রন্ধ্রের ভিতর দিয়া বেশীদূর অগ্রসর হয়।
(d) নিম্নতাপমাত্রা পরিমাপে পারদ-থার্মোমিটার অপেক্ষা অ্যালকোহল থার্মোমিটার বেশী উপযোগী।	পারদ $-39°C$ উষ্ণতায় জমে কিন্তু অ্যালকোহল জমে $-130°C$।
(e) থার্মোমিটারের কুণ্ড পাতলা কাচের তৈরী করা হয়।	ইহা বস্তু হইতে বেশী তাপ সংগ্রহ করিবে।

12. সঠিক উত্তরটি √ চিহ্নিত কর :

(a) যে থার্মোমিটারের প্রাথমিক অন্তর সব চাইতে কম তাহা হইল (i) সেলসিয়াস থার্মোমিটার, (ii) ফারেনহাইট থার্মোমিটার।

(b) 20°C তাপমাত্রার ব্যবধান ফারেনহাইট স্কেলে যে ব্যবধানের সমান তাহা (i) 20°F (ii) 36°F (iii) 68°F (iv) 4°F.

(c) সেলসিয়াস স্কেলে 25° পাঠ ফারেনহাইট স্কেলের যে পাঠের সমান তাহা (i) 20°F (ii) 36°F (iii) 68°F (iv) 4°F.

(d) A বস্তুর তাপমাত্রা B বস্তুর তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী যখন (i) A বস্তু B-কে তাপ দেয়, (ii) A বস্তু B বস্তু হইতে তাপ গ্রহণ করে, (iii) দুই বস্তুর ভিতর কোন তাপের আদান-প্রদান হয় না।

অঙ্ক :

13. দার্জিলিং-এ কোন এক শীতের দিনে সর্বনিম্ন তাপমাত্রা 30° ফারেনহাইট। সেলসিয়াসে ঐ তাপমাত্রা কত হইবে? [Ans. −1·11°]

14. −40°F উষ্ণতার সমান উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড স্কেলে কি হইবে নির্ণয় কর।
[*M. Exam., 1980*] [Ans. −40°C]

15. শীতকালের কোন একদিন তাপমাত্রা 23°F হইল। সেন্টিগ্রেডে ঐ তাপমাত্রা কত?
[*M. Exam., 1981*] [Ans. −5°C]

16. এ পর্যন্ত যা সর্বনিম্ন তাপমাত্রা পাওয়া গিয়াছে তাহা −270° সেলসিয়াস। ফারেনহাইট স্কেলে তাহা কত? [Ans. −454°]

17. কোন থার্মোমিটারে স্ফুটনাঙ্ক 160° এবং হিমাঙ্ক 15° দাগ কাটা আছে। এই থার্মোমিটারে কোন তাপমাত্রা 70° হইলে সেলসিয়াস ও ফারেনহাইটে কত হইবে?
[Ans. 38°C (প্রায়) ; 100·4°F]

18. কোন দিনের তাপমাত্রা 40°C হইলে, ফারেনহাইট স্কেলে এই তাপমাত্রা কত?
[*M. Exam., 1982*] [Ans. 104°]

19. কোন দিনের তাপমাত্রা 77°F হইলে সেন্টিগ্রেড স্কেলে উহা কত হইবে?
[*M. Exam., 1983*] [Ans. 25°C]

20. একটি থার্মোমিটারে হিমাঙ্ক 20° এবং স্ফুটনাঙ্ক 150° দাগ কাটা আছে। সেলসিয়াস থার্মোমিটারে কোন তাপমাত্রা 45°C হইলে ঐ থার্মোমিটারে কত হইবে? [Ans. 78·5°]

21. কোন দিনের তাপমাত্রা 40°C পাওয়া গেল। ফারেনহাইট স্কেলে ঐ তাপমাত্রা কত?
[*M. Exam., 1985*] [Ans. 104°]

22. গরম দুধে একটি সেলসিয়াস থার্মোমিটার 55°C পাঠ দেয় এবং গরম জলে একটি ফারেনহাইট থার্মোমিটার পাঠ দেয় 200°F ; থার্মোমিটার দুইটিকে অদলবদল করিয়া পাঠ লইলে দুধের এবং জলের তাপমাত্রা কত পাওয়া যাইবে? [Ans. 131°F ; 93·3°C]

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

কঠিন, তরল ও গ্যাসের প্রসারণ

(Expansion of solid, liquid and gas)

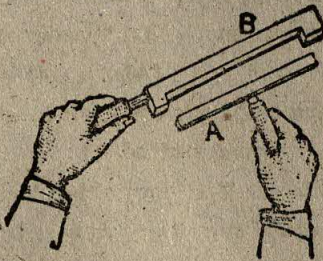
2-1. তাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থের প্রসারণ (Expansion of solid when heated) :

কঠিন পদার্থে তাপ প্রয়োগ করিলে সাধারণত উহার প্রসারণ হয়। তামা, লোহা, পিতল ইত্যাদি ধাতব পদার্থের এই প্রসারণ খুব উল্লেখযোগ্য।

কঠিন পদার্থের প্রসারণ তিন রকমের হইতে পারে।

(1) দৈর্ঘ্যে প্রসারণ; (2) ক্ষেত্রফলে প্রসারণ; (3) আয়তনে প্রসারণ।

নিম্নবর্ণিত কয়েকটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা কঠিন পদার্থের বিভিন্ন প্রসারণ দেখানো যাইতে পারে।

(1) **দণ্ড ও গেজ** (Bar and Gauge) **পরীক্ষা :** A একটি কাঠের হাতলসহ লোহার দণ্ড। B একটি ধাতব গেজ। A দণ্ড ঠাণ্ডা অবস্থায় B-এর ফাঁকের মধ্যে ঠিক আঁটিয়া যায় [5 নং চিত্র]। এখন A দণ্ডকে তাপ প্রদান করিয়া উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে যে উহা B-র ফাঁকের মধ্যে আর বসিতেছে না। আবার ঠাণ্ডা করিলে ঠিক ঠিক ফাঁকের মধ্যে বসিবে। সুতরাং ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে তাপ প্রদানের ফলে A-দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ হইয়াছে।

দৈর্ঘ্য প্রসারণের পরীক্ষা

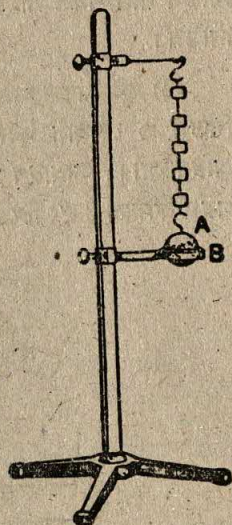
চিত্র নং 5

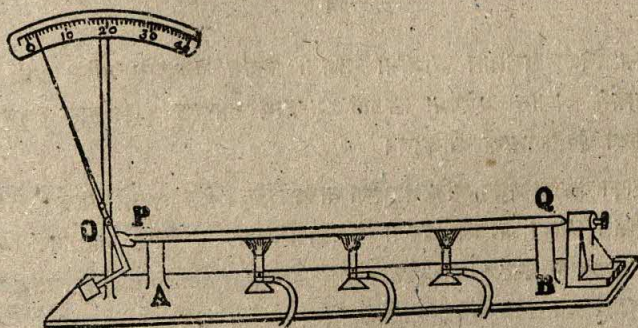
(2) **বল ও আংটা পরীক্ষা :** A-একটি ফাঁপা পিতলের গোলাকার বল। ইহা ঠাণ্ডা অবস্থায় B-আংটার ভিতর দিয়া ঠিক গলিয়া যাইতে পারে। এখন বলকে তাপ প্রদান করিয়া উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে যে ইহা আর আংটার ভিতর দিয়া গলিয়া যাইতেছে না (6 নং চিত্র)। বলকে পূর্বের ঠাণ্ডা অবস্থায় আনিলে পুনরায় উহা আংটার ভিতর গলিয়া যাইবে। এই পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় যে তাপ পাইয়া বলটির আয়তনের প্রসারণ হইয়াছে।

আয়তন প্রসারণের ফলে বলটির ক্ষেত্রফলেরও প্রসারণ হয়। অতএব ইহা বলা যাইতে পারে যে তাপ প্রয়োগে কঠিন বস্তুর ক্ষেত্র-প্রসারণ ঘটে।

2-2. বিভিন্ন ধাতুর প্রসারণ বিভিন্ন ঃ

বিভিন্ন ধাতুতে সমপরিমাণ তাপ দিলে বিভিন্ন প্রসারণ ঘটে। নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা ইহা সুন্দরভাবে বোঝা যাইবে।

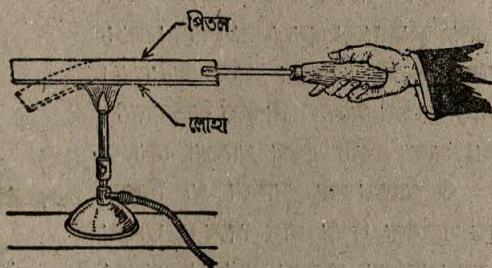
(1) **ফার্গুসনের পরীক্ষা ঃ** PQ একটি ধাতব দণ্ড AB স্তম্ভদ্বয়ের উপর অনভূমিক অবস্থায় রাখা হইয়াছে (7 নং চিত্র)। দণ্ডের Q প্রান্ত একটি স্ক্রুর সঙ্গে ঠেকানো এবং সেইদিকে প্রসারণের কোন জায়গা নাই। P প্রান্ত একটি সূচকের সঙ্গে লাগানো। সূচক একটি খাড়া দণ্ডের সঙ্গে O বিন্দুতে আট্‌কানো। সূচকের সূচালো প্রান্ত একটি স্কেল বাহিয়া চলাচল করিতে পারে। Q প্রান্তের স্ক্রু সামনে বা পিছনে সরাইলে P প্রান্ত সূচকের উপর চাপ দিবে। তাহার ফলে সূচক স্কেল বাহিয়া চলাচল করিবে। প্রথমে Q প্রান্তের স্ক্রু এমনভাবে রাখিতে হইবে যে P

আয়তন প্রসারণের পরীক্ষা

চিত্র নং 6

বিভিন্ন ধাতুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিভিন্ন

চিত্র 7

প্রান্তের চাপে সূচক স্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিয়া থাকে। তারপর বার্নার দ্বারা PQ-দণ্ডকে গরম করিলে দেখা যাইবে যে সূচক স্কেল বাহিয়া আস্তে আস্তে ডানদিকে সরিয়া যাইতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে PQ-দণ্ড উত্তপ্ত হওয়ায় P-প্রান্ত দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হইতেছে এবং ইহার ফলে সূচকের ঐরূপ গতি হইতেছে।

সমান দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন ধাতুর দণ্ড লইয়া উহাদের যদি সমতাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া উপরিউক্তভাবে পরীক্ষা করা যায় তবে দেখা যাইবে সে সূচক স্কেলের বিভিন্ন দাগ পর্যন্ত যাইতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে বিভিন্ন ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ বিভিন্ন।

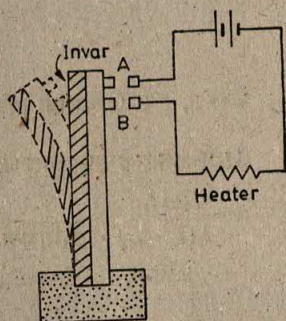
(2) **দুই ধাতুর পাতের বক্রতা পরীক্ষা** (Buckling of a bi-metallic strip) ঃ পিতল ও লোহার দুইটি একই রকম পাত একসঙ্গে রিভেট (rivet) করিয়া আটকানো। সাধারণ ঘরের তাপমাত্রায় উহারা সোজা থাকিবে। কিন্তু উহাকে গরম করিলে 8 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ বাঁকিয়া যাইবে। পিতল

পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ লোহা অপেক্ষা বেশী

চিত্র 8

ও লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ আলাদা বলিয়া ঐরূপ বক্রতার সৃষ্টি হয়, কারণ, দৈর্ঘ্য-প্রসারণ সমান হইলে পাতটি সোজাই থাকিত। পাতকে খুব ঠাণ্ডা করিলে উহা উল্টা দিকে বাঁকিবে।

তা'ছাড়া বক্রতা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে উঁচু পিঠে পিতল আছে। পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ লোহা অপেক্ষা বেশী বলিয়া পিতল উঁচু পিঠে থাকে। দ্বি-ধাতব পাতের বক্রতাকে কাজে লাগাইয়া তাপ স্থাপক (thermostat), অগ্নি সংযোগ সতর্কতা (fire alarm) ব্যবস্থা প্রভৃতি নির্মাণ করা যায়।

প্রয়োগ ঃ দ্বি-ধাতব পাতের বক্রতাকে কাজে লাগাইয়া তাপস্থাপক (thermostat) নির্মাণ করা হয়। হট হাউস, ইনকিউবেটার, রেফ্রিজারেটর প্রভৃতি যন্ত্রপাতির অভ্যন্তরের তাপমাত্রা নিয়ন্ত্রণ করার জন্য তাপস্থাপক ব্যবহার করা হয়। তাপস্থাপককে আমরা এমন একটি স্বয়ংক্রিয় সুইচ মনে করিতে পারি যাহা একটি বিশেষ তাপমাত্রায় চালু (closed) হয় ; আবার অন্য একটি বিশেষ তাপমাত্রায় বিচ্ছিন্ন হয়। 9 নং চিত্রে ইহার একটি সরল নকশা দেখানো হইল।

প্রধানত ইহা ইনভার (invar) ও পিতলের একটি দ্বিধাতব পাত। ইনভারের (নিকেল ও ইস্পাতের সংকর) প্রসারণ অতি সামান্য। যখন তাপমাত্রা কম থাকে, তখন দ্বিধাতব পাত সোজা থাকিয়া A ও B বিন্দুদ্বয়ের ভিতর সংযোগ স্থাপন করে এবং হীটার (heater) চালু হয়। হীটারের উত্তাপে যখন চতুষ্পার্শস্থ বায়ুমণ্ডল উত্তপ্ত হয় তখন দ্বিধাতব পাত বাঁকিয়া যায়। পাতের ডান-দিকে পিতল থাকায় উহার বক্রতা 9নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরকম হয়। ফলে, A এবং B বিন্দুদ্বয়ের সংযোগ বিচ্ছিন্ন হইয়া হীটার বন্ধ হইয়া যায়। আবার, যখন বায়ুমণ্ডল শীতল হইয়া পূর্বেকার তাপমাত্রা পায় তখন দ্বিধাতব পাত পুনরায় সোজা হইয়া সুইচ বন্ধ করে। এইভাবে তাপস্থাপক স্বয়ংক্রিয় পদ্ধতিতে তাপমাত্রা একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে নিয়ন্ত্রিত রাখে।

তাপস্থাপক ব্যবস্থা
চিত্র নং 9

2-3. দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of linear expansion of solids) ঃ

প্রতি একক দৈর্ঘ্যে প্রতি 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য কোন পদার্থের যে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ হয় উহাকে ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে। সাধারণত দৈর্ঘ্য সেন্টিমিটারে এবং তাপমাত্রা সেলসিয়াসে প্রকাশ করা হয়।

দৈর্ঘ্যের এককের উপর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ভর করে না—কিন্তু তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে।

যেমন, লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000012 বলিতে এই বুঝায় যে 1 সেন্টিমিটার বা 1 ফুট বা 1 গজ লম্বা লোহার দণ্ড 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে যথাক্রমে ·000012 সেন্টি. বা ·000012 ফুট বা ·000012 গজ দৈর্ঘ্যে বাড়িবে। কিন্তু যদি তাপমাত্রা ফারেনহাইট এককে বলা হয় তবে ইহার মান আলাদা হইবে। যেহেতু $1°F = \frac{5}{9}°C$, কাজেই লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক এই ক্ষেত্রে $\cdot000012 \times \frac{5}{9} = \cdot0000067$ হইবে।

ধরা যাউক, t_1°C তাপমাত্রায় কোন দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_1 এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া t_2°C করিলে দৈর্ঘ্য হইল l_2.

(t_2-t_1)°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্য-প্রসারণ$=l_2-l_1$

সুতরাং ,, ,, ,, প্রতি একক দৈর্ঘ্যে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ

$$=\frac{l_2-l_1}{l_1}$$

অথবা, 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রতি একক দৈর্ঘ্যে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ$=\dfrac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}$

দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ককে যদি α (আল্‌ফা) বলা হয়, তবে উহার সংজ্ঞানুযায়ী

$$\alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}=\frac{\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}\times\text{তাপমাত্রার বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $l_2-l_1=\alpha l_1(t_2-t_1)$

$$\therefore\quad l_2=l_1\{1+\alpha(t_2-t_1)\}$$

কয়েকটি পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের তালিকা

পদার্থ	প্রতি ডিগ্রী সেল:	প্রতি ডিগ্রী ফা:
পিতল	·000019	·000011
লোহা	·000012	·0000067
ইস্পাত	·000011	·0000061
তামা	·000017	·0000097
জার্মান সিলভার	·000018	·00001
ইনভার [নিকেল ইস্পাত সংকর ধাতু]	·0000009	·0000005

উদাহরণ: (1) একটি তামার দণ্ড 0°C তাপমাত্রায় 2 মিটার দীর্ঘ। উহাকে 200°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে দৈর্ঘ্য 200·68 সেন্টিমিটার হয়। তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত?

উঃ। এস্থলে $l_1=2$ মিটার$=200$ সেন্টিমিটার

$l_2=200{\cdot}68$ সেন্টিমিটার

$t_1=0$°C

$t_2=200$°C

এখন,

$$\alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}=\frac{200{\cdot}68-200}{200(200-0)}=\frac{0{\cdot}68}{200\times200}=\frac{68}{4}\times10^{-6}=17\times10^{-6}$$

$$={\cdot}000017$$

(2) একটি ধাতুদণ্ড 68°F তাপমাত্রায় 8 ফুট দীর্ঘ। উহার তাপমাত্রা 110°F করিলে কতখানি দৈর্ঘ্য-প্রসারণ হইবে?

[ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক=·0000094 প্রতি ডিগ্রী ফাঃ]

উঃ। আমরা জানি,

$$\alpha=\frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}\times\text{তাপমাত্রার বৃদ্ধি}}$$

অতএব, $\cdot 0000094=\frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{8\times(110-68)}$

অথবা, দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $=\cdot 0000094\times 8\times 42=\cdot 0031584$ ft.

(3) 59°F হইতে 100°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য একটি দস্তাদণ্ডের দৈর্ঘ্য 5 mm. প্রসারিত হইল। দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য কত ছিল? দস্তার $\alpha=$ 0·000029 per °C. [*H. S. Exam., 1960*]

উঃ। প্রথমে 59°F তাপমাত্রাকে সেলসিয়াস স্কেলে রূপান্তরিত করিতে হইবে।

আমরা জানি, $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$; এস্থলে $F=59°$; কাজেই $\frac{C}{5}=\frac{59-32}{9}=\frac{27}{9}=3$

$\therefore\ C=15°$

এখন, আমরা জানি,

দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি=প্রাথমিক দৈর্ঘ্য × প্রসারণ গুণাঙ্ক × তাপমাত্রা ভেদ,

কাজেই, $0\cdot 5=l\times\cdot 000029\times(100-15)$ [l=প্রাথমিক দৈর্ঘ্য]

অথবা, $0\cdot 5=l\times\cdot 000029\times 85$

$$\therefore\ l=\frac{0\cdot 5}{\cdot 000029\times 85}$$

$$=\frac{0\cdot 5\times 10^6}{29\times 85}=\frac{5\times 10^5}{29\times 85}=202\cdot 9\text{ cm.}$$

সুতরাং প্রাথমিক দৈর্ঘ্য=202·9 cm.

[দ্রষ্টব্য: উপরিউক্ত উদাহরণগুলির বিভিন্ন রাশির একক লক্ষ্য কর।

2-4. ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of surface expansion) :

প্রতি একক ক্ষেত্রফলে 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য কোন পদার্থের যে-ক্ষেত্র প্রসারণ হয়, উহাকে ঐ পদার্থের ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়। এখানে সাধারণত তাপমাত্রা সেলসিয়াসে প্রকাশ করা হয়।

যেমন, লোহার ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক 0·00024 বলিতে এই বুঝায় যে 1 বর্গ সেন্টিমিটার বা 1 বর্গ গজ বা 1 বর্গফুট লোহার প্লেট 1°C তাপমাত্রার বৃদ্ধির

ফলে যথাক্রমে ·000024 বর্গ সেন্টিমিটার বা ·000024 বর্গ গজ বা ·000024 বর্গফুট বৃদ্ধি পাইবে। কিন্তু ফারেনহাইট স্কেল ব্যবহার করিলে ইহার মান অন্যরকম হইবে। ফারেনহাইটে তাপমাত্রা প্রকাশ করিলে ইহার মান হইবে $\frac{5}{9}\times\cdot0000024=00029134$.

ধরা যাউক, t_1°C তাপমাত্রায় কোন ধাতব প্লেটের ক্ষেত্রফল S_1 এবং বর্ধিত t_2°C-এ ক্ষেত্রফল S_2.

এখন, (t_2-t_1)°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ক্ষেত্র-প্রসারণ $=S_2-S_1$

অথবা ,, ,, ,, ,, একক ক্ষেত্রফলের ক্ষেত্র-প্রসারণ

$$=\frac{S_2-S_1}{S_1}$$

সুতরাং 1°C ,, ,, ,, ,, ,, $=\frac{S_2-S_1}{S_1(t_2-t_1)}$

যদি ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক β (বিটা) ধরা যায় তবে ইহার সংজ্ঞা অনুযায়ী

$$\beta=\frac{S_2-S_1}{S_1(t_2-t_1)}=\frac{\text{ক্ষেত্র প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল}\times\text{তাপমাত্রার বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $S_2-S_1=\beta S_1(t_2-t_1)$

$$\therefore\quad S_2=S_1\{1+\beta(t_2-t_1)\}.$$

2-5. আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of volume expansion) ঃ

প্রতি একক আয়তনে প্রতি 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য কোন পদার্থের যে আয়তন প্রসারণ হয় উহাকে ঐ পদার্থের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়। এখানেও তাপমাত্রা সাধারণত সেলসিয়াসে প্রকাশ করা হয়।

পূর্বের মত বলা যাইতে পারে যে লোহার আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000036 বলিতে বুঝায় যে 1 ঘ. সে. বা 1 ঘ. ফু. বা 1 ঘ. গ. লোহার গোলক 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে যথাক্রমে ·000036 ঘ. সে. বা ·000036 ঘ. ফু. বা ·000036 ঘ. গ. বৃদ্ধি পাইবে। ফারেনহাইট তাপমাত্রায় ইহার মান $\frac{5}{9}\times\cdot000036=\cdot00002$.

ধরা যাউক, t_1°C তাপমাত্রায় কোন ধাতব গোলকের (sphere) আয়তন V_1 এবং বর্ধিত তাপমাত্রা t_2°C-এ আয়তন V_2.

এখন, (t_2-t_1)°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে আয়তন প্রসারণ $=V_2-V_1$

∴ ,, ,, ,, একক আয়তনে আয়তন প্রসারণ

$$=\frac{V_2-V_1}{V_1}$$

∴ 1°C ,, ,, ,, ,, $=\frac{V_2-V_1}{V_1(t_2-t_1)}$

যদি আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক γ (গামা) ধরা যায়, তবে ইহার সংজ্ঞানুযায়ী

$$\gamma=\frac{V_2-V_1}{V_1(t_2-t_1)}=\frac{\text{আয়তন প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $V_2-V_1=\gamma V_1(t_2-t_1)$.

$\therefore\quad V_2=V_1\{1+\gamma(t_2-t_1)\}$.

2-6. প্রসারণের তিন গুণাঙ্কের সম্পর্ক (Relation among the three co-efficients of expansion) ঃ

ধর, কোন তাপমাত্রায় একটি আয়তাকার প্লেটের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ যথাক্রমে a এবং b ; ঐ তাপমাত্রায় প্লেটের ক্ষেত্রফল $S_1=a.b$,

যদি তাপমাত্রা বৃদ্ধি t হয়, তবে প্লেটের দৈর্ঘ্য$=a(1+\alpha t)$ এবং প্রস্থ $=b(1+\alpha t)$ যদি α দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক হয়।

প্লেটের বর্তমান ক্ষেত্রফল $S_2=a(1+\alpha t).\ b(1+\alpha t)=a.b.(1+\alpha t)^2$

$$=S_1(1+2\alpha.t+\alpha^2.t^2)=S_1(1+2\alpha t)\ ..(i)$$

[α খুব ছোট বলিয়া α^2t^2 উপেক্ষা করা যায়]

এখন, ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক β হইলে, উহার সংজ্ঞানুযায়ী পাই,

$$S_2=S_1(1+\beta.t)\quad ..\quad (ii)$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ তুলনা করিলে দাঁড়ায় $\beta=2\alpha$.

এইবার ধর, একটি আয়তাকার ব্লক লওয়া হইল যাহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা যথাক্রমে a, b এবং c. অতএব, উহার আয়তন $V_1=a.b.c$.

যদি ব্লকের তাপমাত্রা t° বৃদ্ধি করা হয় তবে উহার দৈর্ঘ্য হইবে$=a(1+\alpha t)$, প্রস্থ হইবে$=b(1+\alpha t)$ এবং উচ্চতা হইবে$=c(1+\alpha t)$

ব্লকের বর্তমান আয়তন $V_2=a(1+\alpha t).b(1+\alpha t).\ c(1+\alpha t)$

$$=a.b.c.(1+\alpha t)^3$$

$$=V_1(1+3\alpha t+3\alpha^2t^2+\alpha^3t^3)$$

$$=V_1(1+3\alpha.t)\quad ..\quad (iii)$$

[α খুব ছোট হওয়ায় α^2t^2 এবং α^3t^3 উপেক্ষা করা যায়]

এখন, আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক γ হইলে, উহার সংজ্ঞানুযায়ী পাই,

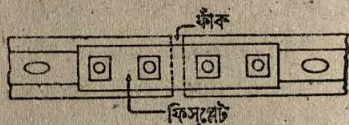
$$V_2=V_1(1+\gamma.t)$$

(iii) এবং (iv) নং সমীকরণ তুলনা করিলে দাঁড়ায় $\gamma=3.\alpha$

$$\text{সুতরাং}\quad \alpha=\frac{\beta}{2}=\frac{\gamma}{3}.$$

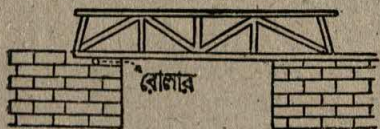
2-7. কঠিন পদার্থের প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ

এঞ্জিনিয়ারিং ও অন্যান্য কারিগরী বিদ্যায় কঠিন পদার্থের প্রসারণের বহু ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায়। আমাদের দৈনন্দিন জীবনেও আমরা কঠিন পদার্থের প্রসারণ ও সংকোচনকে নানাভাবে কাজে লাগাই। কোন কোন ক্ষেত্রে ইহা আমাদের কাজের সুবিধা করে, আবার কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধার সৃষ্টি করে। নিম্নে ইহার সুবিধা ও অসুবিধার কথা আলোচনা করা হইল।

অসুবিধার কারণ ঃ (ক) রেল লাইন পাতিবার সময় দুই লাইনের জোড়ের মুখে কিছু ফাঁক রাখিতে হয়। কারণ, সূর্যকিরণে বা চাকার ঘর্ষণে লোহা উত্তপ্ত হইলে দৈর্ঘ্যের প্রসারণ হয় এবং তাহার জন্য ঐ জায়গা রাখা হয়। মুখে মুখে লাগাইয়া রাখিলে প্রসারণজনিত বলের দরুন লাইন বাঁকিয়া যাইবার সম্ভাবনা থাকে।

রেল লাইনের জোড়ের মুখে ফাঁক থাকে
চিত্র নং 10

লাইন দুইটির দু'পাশে একটি করিয়া লোহার পাত চারটি বোল্টের সাহায্যে সংযুক্ত রাখা হয়। এই পাতকে ফিসপ্লেট বলে (10 নং চিত্র)।

কিন্তু ট্রাম লাইন পাতিবার সময় ঐরূপ ফাঁক রাখা হয় না। বিদ্যুৎ প্রবাহ চালু রাখার জন্য লাইনগুলি মুখে মুখে জোড়া লাগাইয়া রাখা হয় কিন্তু লাইনগুলি মাটির ভিতরে গাঁথা থাকে এবং গ্রানাইট পাথর ও কংক্রীট দ্বারা বেষ্টিত থাকে বলিয়া তাপমাত্রার পার্থক্য খুব কম হয় এবং সেই কারণে বাঁকিতে পারে না।

(খ) লোহার সেতু তৈয়ারী করিবার সময় লোহার প্রসারণের কথা চিন্তা করিয়া তাহার জন্য জায়গা রাখিতে হয়। এইজন্য সেতুর উভয় প্রান্ত কংক্রীট ও ইটের গাঁথুনী দ্বারা দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ করা হয় না। সেতুর এক প্রান্ত একটি চাকার (roller) উপর রাখা হয় (11 নং চিত্র) যাহাতে উত্তপ্ত হইয়া লোহা ঐ দিকে প্রসারিত হইতে পারে।

সেতুর একপ্রান্তে রোলারের উপর থাকে
চিত্র নং 11

(গ) মোটা কাচের গ্লাসে গরম জল ঢালিলে গ্লাস ফাটিয়া যায়। এইরূপ হওয়ার কারণ এই যে কাচ খুব ভাল তাপ পরিবাহী নহে। গ্লাসের অভ্যন্তর উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হয় কিন্তু বাহিরের অংশ সম-পরিমাণ তাপ না পাওয়ায় খুব কম প্রসারিত হয়। একই পাত্রের বাহির ও অভ্যন্তরের

এই অসম প্রসারণের ফলে যে-বলের উদ্ভব হয় তাহার জন্য পাত্র ফাটিয়া যায়। এই অসুবিধা মনে রাখিয়া কাচের পাত্র বা চিমনি প্রভৃতি জিনিস তৈয়ারী করার সময় বিশেষ যত্ন লইতে হয়।

(ঘ) চুল্লী (furance) তৈয়ারী করিবার সময় লোহার দণ্ড ইটের গাঁথুনীর ভিতর ঢুকাইয়া দিতে হয়। চুল্লীর প্রচণ্ড তাপে লৌহদণ্ডের যথেষ্ট প্রসারণ হয়। সুতরাং দণ্ডের একপ্রান্ত আলগা রাখিয়া প্রসারণের জায়গা করিয়া দিতে হয়। নতুবা প্রসারণের ফলে যে-বলের উদ্ভব হয় তাহা ইটের গাঁথুনি ভাঙিয়া ফেলিতে পারে।

(ঙ) কোন ধাতুনির্মিত স্কেল দূরত্ব মাপিবার জন্য ব্যবহার করিলে প্রসারণ-জনিত ত্রুটির প্রতি লক্ষ্য রাখা উচিত। যে-তাপমাত্রায় স্কেল তৈয়ারী করা হয় শুধু সেই তাপমাত্রাতেই উহা ত্রুটিহীন। তাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস পাইলে প্রত্যেক দাগের প্রসারণ বা সংকোচন হয়। ফলে ঐ স্কেল দ্বারা নির্ভুলভাবে দূরত্ব মাপা চলে না। কিন্তু দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক জানা থাকিলে প্রয়োজনীয় সংশোধন করিয়া লওয়া চলে।

উদাহরণ ঃ একটি ইস্পাতের মিটার স্কেল 0°C তাপমাত্রায় ত্রুটিহীন। ঐ স্কেল দ্বারা 15°C তাপমাত্রায় দৈর্ঘ্য মাপিলে কতটুকু ত্রুটি আসিবে? (ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক=0·000012)

উঃ। 15°C তাপমাত্রায় স্কেলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ হইবে। সুতরাং তখন স্কেলটির দৈর্ঘ্য এক মিটারের বেশী হইবে। কিন্তু স্কেলের দাগ 1 মিটার থাকিবে। এখন 15°C তাপমাত্রায় সঠিক দূরত্ব=স্কেল প্রদর্শিত পাঠ $\times\{1+\alpha(t_2-t_1)\}$

$$=100\times(1+0{\cdot}00012\times15)$$
$$=(100+0{\cdot}018)\ \text{cm.}$$

সুতরাং 15°C-এ ঐ স্কেল দ্বারা কোন দৈর্ঘ্য মাপিলে, যাহা 1 মিটার অথবা 100 সে.মি. বলিয়া স্কেল দেখাইবে তাহা প্রকৃতপক্ষে আরও 0·018 সে.মি. বেশী। সুতরাং ত্রুটির পরিমাণ=0·018 সে.মি.।

সুবিধার কারণ ঃ (ক) রিভেট করিয়া দুইটি ধাতব প্লেট দৃঢ়ভাবে আটকানোর পদ্ধতির কথা তোমাদের অনেকের জানা আছে। যে দুইটি প্লেট জুড়িতে হইবে উহাদের পরপর রাখিয়া একটি ফুটা করা হয় এবং একটি রিভেট বা খিল গরম করিয়া ঐ ফুটার ভিতর ঢুকানো হয়। পরে হাতুড়ি দিয়া পিটাইয়া রিভেটের মাথা প্লেটের সঙ্গে মিশাইয়া দেওয়া হয়। রিভেট যখন ঠাণ্ডা হয় তখন উহার দৈর্ঘ্যের সংকোচন হয় এবং উহার ফলে রিভেট প্লেট দুইটিকে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া রাখে।

(খ) লৌহদণ্ডের প্রসারণ ও সংকোচনকে প্রয়োগ করিয়া যে সমস্ত বাড়ির দেওয়াল বাহিরের দিকে বাঁকিয়া গিয়াছে তাহাদের সোজা করা হয়। দেওয়ালের মধ্য দিয়া কতকগুলি লৌহদণ্ড ঢুকাইয়া পাত ও স্ক্রুর সাহায্যে শক্ত করিয়া আট্‌কাইয়া দেওয়া হয়। অতঃপর দণ্ডগুলিকে উষ্ণ করিয়া স্ক্রু আরও জোরে আঁটিয়া দেওয়া হয়। দণ্ডগুলি পরে যখন ঠাণ্ডা হয় তখন দৈর্ঘ্যে সংকুচিত হয়। উহার ফলে যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হয় তাহা দেওয়ালকে টানিয়া সোজা করে।

(গ) গরুর গাড়ীর চাকায় লোহার বেড় পরাইবার সময় লোহার প্রসারণ ও সংকোচনকে প্রয়োগ করা হয়। বেড়ের ব্যাস চাকার ব্যাস অপেক্ষা কিছু ছোট থাকে। বেড়কে উষ্ণ করিলে প্রসারিত হইয়া চাকার গায়ে ঠিক ঠিক আঁটিয়া যায়। পরে জল ঢালিয়া বেড়কে ঠাণ্ডা করিলে উহার সংকোচন হয় এবং বেড় চাকার গায়ে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া যায়।

উদাহরণ ঃ 15°C তাপমাত্রায় একটি লোহার বেড়ের ব্যাস 99.8 সে.মি. ; কত তাপমাত্রায় 100 সে.মি. ব্যাসযুক্ত চাকার ঐ বেড় পরানো যাইবে? লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক$=1{\cdot}2\times10^{-5}$ প্রতি °C।

উঃ। বেড়ের পরিধির দৈর্ঘ্য$=(\pi\times99{\cdot}8)$ সে.মি. ; চাকার পরিধির দৈর্ঘ্য $=(\pi\times100)$ সে.মি.।

সুতরাং চাকায় পরাইতে বেড়ের প্রয়োজনীয়তা দৈর্ঘ্য প্রসারণ

$=\pi(100-99{\cdot}8)=\pi\times0{\cdot}2$ সে.মি.

আমরা জানি, দৈর্ঘ্য প্রসারণ=প্রাথমিক দৈর্ঘ্য×তাপমাত্রাবৃদ্ধি×গুণাঙ্ক

অথবা, $\pi\times0{\cdot}2=99{\cdot}8\pi\times(t-15)\times1{\cdot}2\times10^{-5}$

$$\therefore\quad t-15=\frac{0{\cdot}2}{99{\cdot}8\times1{\cdot}2\times10^{-5}}=167 \text{ (প্রায়)}$$

অথবা $t=182°C$.

(ঘ) যদি কাচের শিশিতে কাচের ছিপি খুব জোরে আঁটিয়া যায় তবে শিশির মুখ একটু গরম করিলেই ছিপি খুলিয়া আসে। কারণ, শিশির মুখ উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হয় কিন্তু কাচ ভাল তাপ পরিবহন করে না বলিয়া ছিপি উত্তপ্ত হইতে পারে না এবং উহার প্রসারণও হয় না। সুতরাং ছিপি আল্‌গা হইয়া যায়।

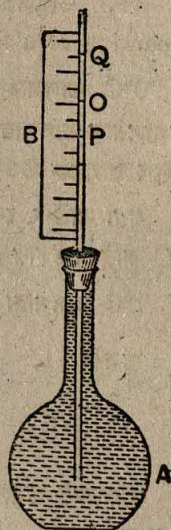
তরলের প্রসারণ

2-8. সূচনা ঃ

তাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থের মত তরলেরও প্রসারণ হয়। কিন্তু তরলের প্রসারণ আলোচনা করিতে গেলে কয়েকটি কথা মনে রাখিতে হইবে। প্রথমত, তরলের নিজস্ব কোন আকার নাই। তরল পাত্রের আকার ধারণ করে। সুতরাং

ইহার দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র-প্রসারণ সম্ভব নহে। তরলের কেবল আয়তন প্রসারণ হয়। দ্বিতীয়ত, তরলের প্রসারণ লক্ষ্য করিতে গেলে তরলকে কোন পাত্রে রাখিয়া উত্তপ্ত করিতে হইবে। কিন্তু তাপ প্রয়োগে তরলের সঙ্গে সঙ্গে পাত্রের প্রসারণ হইবে। সুতরাং পাত্রের প্রসারণের পরিপ্রেক্ষিতে **তরলের প্রসারণ বিচার করিতে হইবে।** নিম্নে বর্ণিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা তরলের প্রসারণ দেখানো যাইতে পারে।

তরলের প্রসারণ পরীক্ষা—চিত্র নং 12

পরীক্ষা ঃ A একটি কাচের ফ্লাস্ক। ইহার গলা সরু ও লম্বা। ফ্লাস্কের ছিপি দিয়া একটি সরু কাচনল ঢুকান আছে। একটি স্কেল B এই নলের সঙ্গে সংযুক্ত। ফ্লাস্কটি রঙিন জলে পূর্ণ কর এবং মনে কর জলের তল O দাগ পর্যন্ত পৌঁছিল। এখন ফ্লাস্ককে গরম জলে পূর্ণ অপর একটি পাত্রে বসাইলে দেখা যাইবে যে, রঙিন জল P দাগ পর্যন্ত নামিয়া আসিল। পরে আস্তে আস্তে জলের তল O দাগ ছাড়াইয়া Q দাগ পর্যন্ত পৌঁছিল (12 নং চিত্র)। এইরূপ হইবার কারণ কি?

গরম জলে ফ্লাস্ক বসাইলে প্রথমে কাচ উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হয়। কিন্তু কাচ ভাল তাপ পরিবাহী নয় বলিয়া ফ্লাস্কের ভিতরস্থ জল ঐ তাপ তৎক্ষণাৎ পায় না। সুতরাং কাচের প্রসারণের ফলে আয়তনের যে বৃদ্ধি হইল জল তাহা অধিকার করায় জলের তল খানিকটা নামিয়া P দাগ পর্যন্ত পৌঁছায়। কিন্তু পরে যখন জল তাপ পায় তখন উহার আয়তনের প্রসারণ হয়। জলের আয়তন প্রসারণ কঠিন পদার্থ (এখানে কাচ) অপেক্ষা বেশী বলিয়া জল আস্তে আস্তে O দাগ ছাড়াইয়া Q দাগ পর্যন্ত পৌঁছায়।

সুতরাং জলের আয়তন প্রসারণ প্রকৃতপক্ষে P দাগ হইতে Q দাগ পর্যন্ত এবং কাচের আয়তন প্রসারণ O হইতে P দাগ পর্যন্ত হইল। যদিও কাচ তাপের সুপরিবাহী নয় তবুও ফ্লাস্কের ভিতরের জলের তাপ পাইতে বিশেষ দেরী হয় না এবং কঠিন পদার্থের আয়তন প্রসারণ খুব কম বলিয়া আমরা চোখে তরলের প্রসারণ O দাগ হইতে Q দাগ পর্যন্ত দেখি।

উপরিউক্ত কারণে O হইতে Q দাগ পর্যন্ত আয়তন প্রসারণকে বলা হয় **তরলের আয়তনের আপাত** (apparent) **প্রসারণ** এবং P হইতে Q পর্যন্ত আয়তন প্রসারণকে বলা হয় **তরলের আয়তনের প্রকৃত** (1eal) **প্রসারণ।**

যেহেতু কাচনলটি সর্বত্র সমব্যাসমুক্ত সুতরাং, OP, PQ এবং OQ আয়তনগুলি উহাদের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

11 নং চিত্র হইতে বোঝা যায় যে $PQ=OQ+OP$

অর্থাৎ, তরলের প্রকৃত প্রসারণ=তরলের আপাত প্রসারণ+পাত্রের প্রসারণ।

2-9. তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of apparent expansion of a liquid) :

0°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন তরলের যে আয়তন হয় প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ঐ আয়তনের প্রতি এককে যে আপাত প্রসারণ হইবে তাহাকে উক্ত তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

ধরা যাউক, কোন তরলের 0°C তাপমাত্রার আয়তন V_0. উহার তাপমাত্রা t°C করিলে উহার আপাত (apparent) আয়তন, ধরা যাউক, V_t হইল। সুতরাং

t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে তরলের আয়তনের আপাত প্রসারণ $=V_t-V_0$

অথবা ,, ,, ,, প্রতি একক ,, ,, $=\dfrac{V_t-V_0}{V_0}$

$\therefore$ 1°C ,, ,, ,, ,, ,, $=\dfrac{V_t-V_0}{V_0 .t}$

ইহাকেই তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়। যদি এই গুণাঙ্ক γ' ধরা হয় তবে,

$$\gamma'=\frac{V_t-V_0}{V_0 t}=\frac{\text{আয়তনের আপাত প্রসারণ}}{\text{0°C তাপমাত্রায় আয়তন}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $V_t-V_0=V_0\gamma'.t$

$$\therefore \quad V_t=V_0\{1+\gamma' t\}$$

ইহা মনে রাখিতে হইবে যে, তরলের γ' কোন ধ্রুবক (constant) নহে। তরল যে পাত্রে রাখা হইবে তাহার উপাদানের উপর γ' নির্ভর করে। উপরন্তু তাপমাত্রার এককের উপরও ইহা নির্ভরশীল। সেলসিয়াস তাপমাত্রায় কোন তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক যদি γ' হয় তবে ফারেনহাইট তাপমাত্রায় $\frac{5}{9}\gamma'$ হইবে।

2-10. তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of real expansion of a liquid) ঃ

0°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন তরলের যে আয়তন হয় প্রতি 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ঐ আয়তনের প্রতি এককে যে প্রকৃত প্রসারণ হইবে তাহাকে উক্ত তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

ধরা যাউক, কিছু তরলের 0°C তাপমাত্রায় আয়তন V_0. উহার তাপমাত্রা t°C করাতে, ধরা যাউক, প্রকৃত আয়তন দাঁড়াইল V_t. সুতরাং

t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে তরলের আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ $= V_t - V_0$

অথবা ,, ,, ,, ,, প্রতি একক আয়তন ,, $= \dfrac{V_t - V_0}{V_0}$

∴ 1°C ,, ,, ,, ,, ,, ,, $= \dfrac{V_t - V_0}{V_0 . t}$

ইহাকেই তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়। এই গুণাঙ্ক γ ধরা হইল

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} = \frac{\text{আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ}}{0°\text{C তাপমাত্রায় আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $V_t - V_0 = V\gamma . t \quad \therefore \quad V = V_0(1+\gamma t)$

ইহা মনে রাখিতে হইবে যে তরলের γ আধারের উপর নির্ভর করে না। কিন্তু তাপমাত্রার একক পরিবর্তন করিলে γ পরিবর্তিত হইবে। ফারেনহাইটে γ-এর মান সেলসিয়াস মানের $\frac{5}{9}$ ভাগ।

2-11. আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between the co-efficient of apparent and real expansion) :

ধর, γ = তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

γ' = ,, আপাত ,, ,,

γ_g = পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

ধর, 0°C তাপমাত্রায় O দাগ পর্যন্ত ফ্লাস্কটির আয়তন V_0 (11 নং চিত্র)। সুতরাং ফ্লাস্কের ভিতর জলের আয়তন ঐ তাপমাত্রায় V_0। ধরা যাউক, t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হইল। কাচনলের প্রস্থচ্ছেদ (cross section) S হইলে,

পাত্রের আয়তন প্রসারণ $= OP \times S$

তরলের আপাত আয়তন প্রসারণ $= OQ \times S$

,, প্রকৃত ,, ,, $= PQ \times S$

আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি,

$$\gamma_g = \frac{\text{পাত্রের আয়তন প্রসারণ}}{\text{পাত্রের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{OP \times S}{V_0 t}$$

$$\gamma' = \frac{\text{তরলের আপাত প্রসারণ}}{0°\text{C তাপমাত্রায় তরলের আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{OQ \times S}{V_0 t}$$

$$= \frac{\text{তরলের প্রকৃত প্রসারণ}}{0°\text{C তাপমাত্রায় তরলের আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{PQ \times S}{V_0 t}$$

এখন $\gamma' + \gamma_g = \dfrac{S}{V_0 t}\left\{ OP + OQ \right\} = \dfrac{PQ \times S}{V_0 t} = \gamma$

অর্থাৎ তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক+পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক= তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

উদাহরণ ঃ কাচপাত্র ব্যবহার করিলে কোন তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক হয় $15{\cdot}5\times10^{-5}$ এবং তামার পাত্র ব্যবহার করিলে হয় $13{\cdot}2\times10^{-5}$; তামার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $1{\cdot}7\times10^{-5}$ হইলে, কাচের কত ?

উঃ। কোন তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক=তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক+পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক$=15{\cdot}5\times10^{-5}+3.\alpha$

[α=কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক]

তামার পাত্রের বেলায়, তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

$$=13{\cdot}2\times10^{-5}+3\times1{\cdot}7\times10^{-5}$$
$$=18{\cdot}3\times10^{-5}$$
$$\therefore\quad 15{\cdot}5\times10^{-5}+3.\alpha=18{\cdot}3\times10^{-5}$$

অথবা, $$3\alpha=2{\cdot}8\times10^{-5}$$
$$\therefore\quad \alpha=0{\cdot}93\times10^{-5}$$

2-12. তরলের ঘনত্বের সহিত উহার প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্কের সম্পর্ক ঃ

ধরা যাক্, কিছু পরিমাণ তরলের ভর m এবং t° তাপমাত্রায় উহার ঘনত্ব ও আয়তন যথাক্রমে D_1 এবং V_1; এখন ঐ তরলকে উষ্ণ করিলে উহার আয়তন ও ঘনত্ব পরিবর্তিত হইবে। ধর, t_2 তাপমাত্রায় $(t_2>t_1)$ উক্ত তরলের ঘনত্ব ও আয়তন যথাক্রমে D_2 এবং V_2। যেহেতু ভর=আয়তন×ঘনত্ব, অতএব $V_1D_1=V_2D_2$

$$\therefore\quad \frac{D_1}{D_2}=\frac{V_2}{V_1}=\frac{V_1\{1+\gamma(t_2-t_1)\}}{V_1}=\{1+\gamma(t_2-t_1)\}$$

$$\therefore\quad D_1=D_2\{1+\gamma(t_2-t_1)\}\ \ldots\ \text{(i)}$$ [γ=তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক]

যদি প্রাথমিক তাপমাত্রা 0° এবং প্রাথমিক ঘনত্ব D_0 হয় তবে t° তাপমাত্রায় ঘনত্ব D_t ধরিলে, উপরোক্ত সমীকরণের সহায়তায় লেখা যায় যে,

$$D_0=D_t\{1+\gamma.t\}\ \ldots\ \text{(ii)}$$

উদাহরণ ঃ 0° ও 100° সেলসিয়াসে পারদের ঘনত্ব যথাক্রমে 13·6 গ্র্যাম/সি.সি ও 13.3 গ্র্যাম/সি.সি। এক্ষেত্রে পারদের গড় আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক কত ? [*M. Exam., 1987*]

উঃ। আমরা জানি, $D_0=D_t\{1+\gamma.t\}$; এখানে $D_0=13{\cdot}6$ গ্র্যাম/সি.সি; $D_t=13{\cdot}3$ গ্র্যাম/সি.সি $t=100^\circ C$; অতএব, $13{\cdot}6=13{\cdot}3\{1+\gamma\times100\}$

অথবা, $\frac{13{\cdot}6}{13{\cdot}3}=1+\gamma\times100$ অথবা, $\frac{13{\cdot}6}{13{\cdot}3}-1=100\times\gamma.$

$$\therefore\quad \gamma=\frac{0{\cdot}3}{13{\cdot}3\times100}=2{\cdot}25\times10^{-4}$$

2-13. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ (Anomalous expansion of water) ঃ

সাধারণত উত্তপ্ত হইলে তরলের আয়তনের প্রসারণ হয় এবং ঠাণ্ডা হইলে আয়তনের সংকোচন হয়। ইহাই তরলের সাধারণ নিয়ম। কিন্তু জলের বেলায় ইহার কিছু ব্যতিক্রম দেখা যায়। কিছু পরিমাণ জলকে 0°C তাপমাত্রায় রাখিয়া আস্তে আস্তে গরম করিলে দেখা যাইবে যে উক্ত জলের আয়তন বৃদ্ধি না পাইয়া সংকুচিত হইতেছে। আয়তনের এই সংকোচন চলিবে যতক্ষণ না তাপমাত্রা 4°C-এ পৌঁছায়। 4°C-এর পর তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে অন্যান্য তরলের ন্যায় জলেরও আয়তনের প্রসারণ হয়।

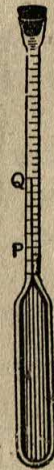
আবার কিছু পরিমাণ উষ্ণ জল লইয়া আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা করিলে অন্যান্য তরলের ন্যায় ঐ জলেরও আয়তন কমিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না তাপমাত্রা 4°C-এ পৌঁছায়। কিন্তু 4°C হইতে 0°C পর্যন্ত ঠাণ্ডা করিলে জলের আয়তন না কমিয়া বৃদ্ধি পাইবে। সুতরাং 4°C হইতে 0°C পর্যন্ত তাপমাত্রার ব্যবধানে জলের ব্যবহার অন্যান্য তরল হইতে ভিন্ন। ইহাকে জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলে।

উপরিউক্ত আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে, নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের 4°C তাপমাত্রায় আয়তন সর্বাপেক্ষা কম। যেহেতু, ঘনত্ব আয়তনের ব্যস্ত (inverse) আনুপাতিক, অতএব ইহা বলা যায় যে 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী।

2-14. জলের ব্যতিক্রান্ত ব্যবহার প্রদর্শনের পরীক্ষা (Experimental study of anomalous behaviour of water) ঃ

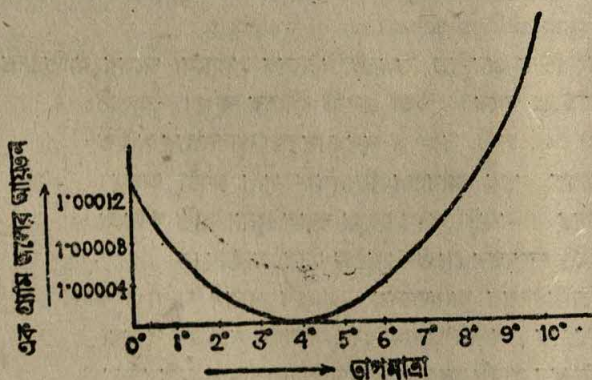
13 নং চিত্রে প্রদর্শিত ডিলাটোমিটারের সাহায্যে জলের ব্যতিক্রান্ত ব্যবহার দেখানো যাইতে পারে। ইহা একটি কাচের কুণ্ড। কুণ্ডটি 20 কি. 30 cm. লম্বা, সরু ও সমব্যাসযুক্ত কাচনলের সহিত যুক্ত। নলের গায়ে আয়তন নির্দেশক দাগ কাটা আছে। কুণ্ড ও নলের খানিকটা অংশ কোন তরল দ্বারা ভর্তি করিলে ঐ দাগ হইতে তরলের মোট আয়তন জানা যাইবে।

ডিলাটোমিটারের আয়তনের $\frac{1}{7}$ অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ কর। পারদের প্রসারণ গুণাঙ্ক কাচ অপেক্ষা সাতগুণ বলিয়া ডিলাটোমিটারের বাকী অংশের আয়তন তাপমাত্রার পরিবর্তনে বদলাইবে না। ফলে ঐ অংশে যদি কোন তরল থাকে তবে তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাস পাইলে তরলের আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ বা সংকোচন হইবে।

জলের ব্যতিক্রান্ত ব্যবহার পরীক্ষা করিবার জন্য উপরিউক্ত পারদপূর্ণ ডিলাটোমিটার নলের কোন দাগ পর্যন্ত বিশুদ্ধ জল দ্বারা পূর্ণ কর। এখন কুণ্ড ও নলের দাগ পর্যন্ত 0°C তাপমাত্রার বরফজলে নিমজ্জিত কর। যখন নলে জলের

ডিলাটোমিটার
চিত্র নং 13

তল স্থির হইবে তখন উহার আয়তন লক্ষ্য কর। বরফজলে একটি থার্মোমিটার ডুবাও। এখন আস্তে আস্তে বরফজলকে উষ্ণ কর এবং প্রতি $\frac{1}{2}$°C তাপমাত্রা অন্তর স্কেলে জলের তল কোন্ দাগ পর্যন্ত থাকে তাহা লক্ষ্য কর। এইভাবে জলকে 10°C পর্যন্ত উষ্ণ কর। দেখা যাইবে যে 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত জলের তল স্কেল বাহিয়া নামিতে থাকিবে এবং পরে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে জলের তল স্কেল বাহিয়া উঠিবে।

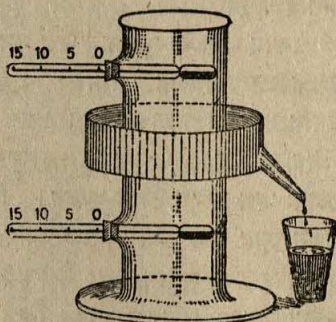
এক গ্র্যাম জলের আয়তন তাপমাত্রার সহিত কিরূপ পরিবর্তিত হয় তাহা আয়তন-তাপমাত্রা লেখ-চিত্রে (graph) দেখান হইল (14 নং চিত্র)। এই লেখ-চিত্রে আয়তনকে উলম্ব অক্ষ (vertical axis) এবং তাপমাত্রাকে অনুভূমিক অক্ষ (horizontal axis) বরাবর নির্দেশ করা হইয়াছে। চিত্র হইতে ইহা পরিষ্কাররূপে বোঝা যায় যে 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত আয়তন ক্রমশ কমিতেছে এবং 4°C-এ আয়তন সর্বাপেক্ষা কম। পরে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে আয়তন বৃদ্ধি পাইতেছে।

অতএব 4°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের আয়তন সর্বাপেক্ষা কম অথবা ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী।

আয়তন-তাপমাত্রা লেখচিত্র

চিত্র নং 14

লেখচিত্রে আর একটি জিনিস লক্ষ্য করিবার আছে। 4°C-এর কাছাকাছি লেখচিত্রের অংশ অনেকটা অনুভূমিক। ইহা প্রমাণ করে যে, 4°C-এর কাছাকাছি সামান্য তাপমাত্রা পরিবর্তনে জলের ঘনত্বের বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না। এই কারণে 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্বকে একক ধরা হয়।

2-15. 4°C-এ জলের সর্বোচ্চ ঘনত্ব প্রদর্শনের জন্য হোপের পরীক্ষা (Hope's experiment to demonstrate the maximum density of water at 4°C) ঃ

15 নং চিত্রে পরীক্ষার উপযুক্ত ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি লম্বা কাচের চোঙ। ইহার গায়ে দুইটি ছিদ্র দিয়া দুইটি থার্মোমিটার ঢুকানো। এই দুই থার্মোমিটারের মাঝখানে এবং চোঙের মাঝ বরাবর একটি পাত্র চোঙকে ঘিরিয়া আছে। এই পাত্রে লবণ ও বরফ মিশাইয়া একটি হিমমিশ্র (freezing mixture) রাখা আছে। এই মিশ্রের তাপমাত্রা −20°C. মিশ্রের বরফ গলিয়া জল হইলে তাহা নিষ্কাশনের জন্য ঐ পাত্রে একটি নল থাকে।

হোপের পরীক্ষা ব্যবস্থা

চিত্র নং 15

এখন চোঙ বিশুদ্ধ জলদ্বারা পূর্ণ কর। প্রথমে দুইটি থার্মোমিটার সমান তাপমাত্রা দেখাইবে। কিন্তু হিমমিশ্রযুক্ত পাত্রের কাছাকাছি জল হিমমিশ্রের সংস্পর্শে ঠাণ্ডা হইয়া আয়তনে সঙ্কুচিত হইবে এবং উহার ঘনত্ব বাড়িবে। এই ভারী ঠাণ্ডা জল নীচের দিকে নামিবে এবং নীচু হইতে অপেক্ষাকৃত হালকা ও গরম জল উপরের দিকে যাইবে এবং যখন হিমমিশ্রের কাছে পৌঁছাইবে তখন আবার ঠাণ্ডা হইবে। এই ঠাণ্ডা জল ভারী হইয়া আবার নীচের দিকে যাইবে। জলের এই চলাচলের ফলে নীচের থার্মোমিটারের তাপমাত্রা ক্রমশ কমিতে থাকিবে। কিন্তু উপরের থার্মোমিটারের কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না, কারণ, উপরের জলের উষ্ণতার কোন পরিবর্তন এযাবত হইবে না।

যখন নীচের থার্মোমিটারে 4°C তাপমাত্রা হইবে তখন নীচের জলের তাপমাত্রা আর কমিতে দেখা যাইবে না। ইহা প্রমাণ করে যে হিমমিশ্রযুক্ত পাত্রের কাছাকাছি জল 4°C অপেক্ষা আরও ঠাণ্ডা হওয়াতে ভারী হইতেছে না—অর্থাৎ ঘনত্ব বাড়িতেছে না। বরং এবার দেখা যাইবে যে, উপরের থার্মোমিটারের তাপমাত্রা কমিতে শুরু করিয়াছে। ইহার কারণ হিমমিশ্র পাত্রের কাছাকাছি জল 4°C-এর কম তাপমাত্রা হওয়াতে ঘনত্ব কমিয়া গেল এবং হাল্‌কা হওয়াতে উপরের দিকে উঠিল। যখন পাত্রের কাছাকাছি জলের 0°C-এর কম তাপমাত্রা হইবে তখন ঐ জল জমিয়া বরফ হইবে এবং জল অপেক্ষা বরফ হাল্‌কা বলিয়া উপরে ভাসিয়া উঠিবে। সতরাং উপরের থার্মোমিটারে 0°C তাপমাত্রা দেখাইবে কিন্তু নীচের জল এবং নীচের থার্মোমিটার সর্বদা 4°C তাপমাত্রায় থাকিবে।

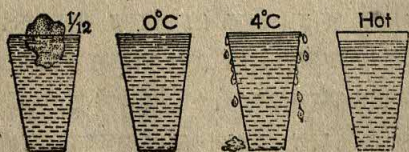
অতএব এই পরীক্ষা প্রমাণ করে যে 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ।

2-16. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফল (Practical consequence of anomalous expansion of water) ঃ

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফলে শীতের দেশে খুব ঠাণ্ডার দিনেও জলচর প্রাণী বাঁচিয়া থাকে। প্রকৃতি জলের এই অদ্ভুত ব্যবহারকে নিজের কাজে লাগাইয়াছে।

কোন নদী বা পুকুরের জল খুব ঠাণ্ডা হইলে কিরূপ অবস্থার উদ্ভব হয় তাহা উপরিউক্ত হোপের পরীক্ষা হইতে সহজেই বোঝা যায়। প্রথমে জলের উপরিভাগে ঠাণ্ডা হাওয়ার সংস্পর্শে ক্রমশ শীতল হইয়া ভারী হইবে এবং তলায় চলিয়া যাইবে। তলার অপেক্ষাকৃত গরম জল উপরের দিকে আসিবে। ইহাতে তলার জল ক্রমশ ঠাণ্ডা হইবে। কিন্তু যেই তলার জলের তাপমাত্রা 4°C হইল তখন আর জল তলার দিকে আসিবে না। কারণ, উপরের জল 4°C-এর কম হইলে হালকা হইবে এবং উপরেই থাকিবে। উপরের জল তখন ক্রমশ ঠাণ্ডা হইয়া বরফে পরিণত হইবে কিন্তু তাহার তলার জল 4°C-এ উষ্ণ থাকিবে। বরফ যদি জল অপেক্ষা ভারী হইত তবে নীচে ডুবিয়া যাইত এবং সেক্ষেত্রে জলাশয়ের সব জল জমিয়া বরফে পরিণত হইত। কিন্তু প্রাকৃতিক নিয়ম এমনই যে তাহা হইতে পারে না। সেজন্য প্রচণ্ড শীতের দিনেও যখন পুকুর বা নদীর উপরিভাগ জমিয়া বরফে পরিণত হয় তখন নীচের জল 4°C তাপমাত্রায় থাকে। এই কারণে মাছ এবং অন্যান্য জলচর প্রাণী শীতের দিনেও বাঁচিয়া থাকে।

প্রশ্ন ঃ একটি গ্লাস কানায় কানায় জলপূর্ণ এবং ঐ অবস্থায় জলের ভিতরে এক টুকরা বরফ ভাসিতেছে। বরফ টুকরা গলিয়া জল হইলে এবং জলের তাপমাত্রা 0°C থাকিলে, জলের তল কোথায় থাকিবে ? গ্লাসের জলের তাপমাত্রা 4°C করিয়া বরফ ভাসাইলেই বা জলের তল কোথায় থাকিবে যখন সব বরফ গলিয়া যাইবে ?

উঃ। গ্লাস কানায় কানায় জলপূর্ণ থাকায় বরফ গলিয়া আরও জল তৈরী হওয়ায় স্বভাবত মনে হয় গ্লাস হইতে জল উপচাইয়া পড়িবে। কিন্তু তাহা হয় না ; জলের তল যেমন ছিল তেমনি থাকিবে। ইহার কারণ 0°C তাপমাত্রায় 11 c.c. জল জমিয়া 0°C তাপমাত্রায় বরফে পরিণত হইলে 12 c.c. বরফ পাওয়া যায়। ঐ বরফ যখন জলে ভাসে তখন উহার আয়তনের 12 ভাগের একভাগ জলের বাহিরে এবং 11

চিত্র নং 16

ভাগ জলের ভিতরে থাকে। সুতরাং ভাসমান অবস্থায় বরফ ঐ আয়তনের 11 ভাগ জল অপসারণ করিয়া ভাসিবে। আবার গলিয়া জল হইলে ঐ 11 ভাগ জল পাওয়া যাইবে। উৎপন্ন জলের আয়তন ও অপসারিত জলের আয়তন সমান হওয়ায় 0°C তাপমাত্রায় বরফ গলিয়া গেলেও গ্লাস কানায় কানায় ভর্তি থাকে—জলের তলের কোন পরিবর্তন হয় না [চিত্র 16 (ii)]।

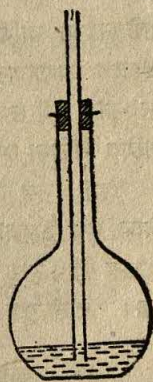
যদি 4°C তাপমাত্রায় জলে বরফ ভাসে তবে বরফ ঐ জল হইতে তাপ লইয়া গলিবে এবং বরফ গলা জল এবং গ্লাসের জলের তাপমাত্রা 4°C অপেক্ষা কম হইবে। এক্ষেত্রে যদিও বরফগলা জলের আয়তন এবং অপসারিত জলের আয়তন সমান তথাপি সমগ্র জলের তাপমাত্রা 4°C-এর কম হওয়াতে জলের আয়তন বৃদ্ধি পাইবে। কারণ, আমরা জানি জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফলে, জলের তাপমাত্রা 4°C-এর কম হইলে জলের আয়তন বৃদ্ধি পায়। ফলে গ্লাসের জল উপচাইয়া পড়ে [চিত্র 16 (iii)]।

যদি উত্তপ্ত জলে বরফ ভাসানো হয় তবে সমগ্র জলের তাপমাত্রা গলিবার ফলে হ্রাস পাইবে। যদিও বরফ জল এবং অপসারিত জলের আয়তন সমান তথাপি উচ্চ তাপমাত্রা (4°C অপেক্ষা বেশী) হইতে নিম্ন তাপমাত্রায় আসিবার ফলে জলের আয়তনের সংকোচন হইবে এবং জলের তল খানিকটা নামিয়া আসিবে [চিত্র 16 (iv)।

গ্যাসের প্রসারণ

2-17. সূচনা ঃ

তাপ প্রয়োগে কঠিন ও তরলের ন্যায় গ্যাসেরও প্রসারণ হয়। গ্যাসের নিজস্ব কোন আকার না থাকায় গ্যাসের দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র-প্রসারণ সম্ভব নহে। তাপ প্রয়োগে গ্যাসের প্রসারণ কঠিন বা তরল অপেক্ষা অনেক বেশী ; তা'ছাড়া সমান তাপমাত্রা ভেদে সব গ্যাসের আয়তন প্রসারণ সমান হয়। কঠিন বা তরলের তাহা হয় না। নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা গ্যাসের প্রসারণের উক্ত বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করানো যায়।

পরীক্ষা ঃ একটি পাতলা কাচের ফ্লাস্ক লইয়া উহাতে কিছু পরিমাণ রঙিন জল ঢাল এবং কর্ক দ্বারা মুখ বন্ধ কর (17 নং চিত্র)। কর্কের ছিদ্র দিয়া একটি সরু কাচনল ঢুকাও যাহাতে নল ফ্লাস্কের তলা পর্যন্ত পৌঁছায়। জল ছাড়া ফ্লাস্কের বাকী অংশ বায়ুপূর্ণ। এইবার দুই হাত দিয়া ফ্লাস্কটির উপরাংশ আবৃত করিলে দেখা যাইবে যে কাচনল বাহিয়া রঙিন জল উর্ধ্বে উঠিয়াছে। কেন এরূপ হয় ?

গ্যাসের প্রসারণ দেখাইবার ব্যবস্থা
চিত্র নং 17

হাতের উত্তাপে ফ্লাস্কের উপরাংশে যে-বায়ু আছে তাহার আয়তনের প্রসারণ হইতে চায়। ফলে উহা জলের উপর যে-চাপ প্রয়োগ করে তাহা জলকে কাচনল বাহিয়া খানিকটা উপরে তুলিয়া দেয়।

এইবার পূর্ব বর্ণিত ফ্লাস্কের ন্যায় দুইটি ফ্লাস্ক লও এবং উহাদের ভিতর সম-আয়তনের রঙিন জল রাখ যাহাতে ফ্লাস্ক দুইটিতে গ্যাস থাকিবার জন্য সম-আয়তনের জায়গা থাকে। একটি ফ্লাস্কে বায়ু ও দ্বিতীয় ফ্লাস্কে অন্য কোন গ্যাস—ধর, হাইড্রোজেন—রাখা হইল। এইবার ফ্লাস্ক দুইটিকে একটি গরম জলপূর্ণ বড় গামলায় রাখ। দেখিবে যে দুইটি ফ্লাস্কের কাচনলেই রঙিন জল সমান ঊর্ধ্বে উঠিয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে, সমান তাপমাত্রাভেদে সব গ্যাসের আয়তন প্রসারণ সমান হয়। কঠিন ও তরলের বেলায় আয়তন প্রসারণ সমান হয় না।

নিম্নবর্ণিত কয়েকটি সাধারণ ঘটনা হইতে গ্যাসের প্রসারণশীলতা সম্বন্ধে তোমাদের ধারণা পরিষ্কার হইবে।

(ক) একটি বেলুনে কিছু হাওয়া ভর্তি করিয়া মুখ শক্ত করিয়া আটকাও। এইবার বেলুনকে একটু উত্তপ্ত কর। দেখিবে বেলুন ফুলিয়া উঠিয়াছে। ইহার কারণ বায়ুর প্রসারণশীলতা। বেলুনের ভিতরকার বায়ু উত্তপ্ত হইয়া আয়তনে প্রসারিত হয় এবং বেলুনের উপর বহির্মুখী চাপ দেয়। ফলে বেলুন ফুলিয়া ওঠে। বেলুনকে এখন ঠাণ্ডা কর। দেখিবে বেলুন ঠাণ্ডা হইয়া যখন পূর্বের তাপমাত্রা পাইবে তখন উহা খানিকটা চুপসাইয়া গিয়াছে।

(খ) একটি কাচের বোতলের মুখ কর্ক দিয়া আটকাইয়া উনানের পাশে রাখ। কিছুক্ষণ পর দেখিবে যে জোর শব্দ করিয়া কর্ক বোতলের মুখ হইতে ছিটকাইয়া বাহির হইয়া গিয়াছে। কেন এরূপ হইল জান কি? উনানের উত্তাপে বোতলের ভিতরকার বায়ু আয়তনে প্রসারিত হইতে চায় কিন্তু কাচের দেওয়াল এই প্রসারণকে বাধা দেয়। ফলে বায়ুর চাপ কর্ককে সজোরে ঠেলিয়া বাহির করিয়া দেয়।

(গ) দুধ উথলাইয়া উঠিবার কথা তোমরা জান। আধ কড়া দুধ জ্বাল দিলে দুধ উথলাইয়া কড়া ভর্তি করিয়া ফেলে। কেন এইরূপ হয়? দুধের ভিতর কিছু বায়ু সর্বদা দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। উত্তাপ পাইয়া এই বায়ু প্রসারিত হয়। তাই দুধ উথলাইয়া উঠে।

2-18. গ্যাসের প্রসারণের উপর চাপ ও তাপমাত্রার প্রভাব: গ্যাসের সূত্র (Gas laws):

গ্যাসের প্রসারণের বৈশিষ্ট্য এই যে চাপ ও তাপমাত্রার সামান্য প্রভেদে গ্যাসের প্রসারণের যথেষ্ট তারতম্য দেখা যায়। চাপ প্রয়োগে বা হ্রাসে কঠিন

বা তরলের সঙ্কোচন বা প্রসারণ এত কম যে তাহা অগ্রাহ্য করা যায়। কিন্তু তাপমাত্রা ঠিক রাখিলেও চাপের সামান্য প্রভেদে কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তনের যথেষ্ট পরিবর্তন দেখা যায়। আবার চাপ ঠিক রাখিয়া তাপমাত্রা সামান্য পরিবর্তন করিলে উক্ত গ্যাসের আয়তন যথেষ্ট পরিবর্তিত হইবে। চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তনের সহিত গ্যাসের পরিবর্তনের সূত্রগুলিকে আদর্শ গ্যাসের সূত্র বলা হয়। নিম্নে এই সূত্রগুলি আলোচনা করা হইল।

(ক) **বয়েলের সূত্র** (Boyle's law) ঃ তাপমাত্রা ঠিক রাখিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের উপর চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ঐ গ্যাসের আয়তন চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতে (inversely) পরিবর্তিত হইবে। ইহাই বয়েল সূত্র।

অর্থাৎ, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন যদি V হয় এবং উহার উপর চাপ P হয়, তবে এই সূত্রানুযায়ী $V \propto \frac{1}{P}$ যদি গ্যাসের তাপমাত্রা পরিবর্তিত না হয়।

অথবা, $VP =$ ধ্রুবক।

কাজেই, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যদি পরিবর্তিত হইয়া V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি এবং উহাদের চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, P_3 হয়, তবে

$V_1P_1 = V_2P_2 = V_3P_3$ ইত্যাদি।

(খ) **চার্লস সূত্র** (Charles' law) ঃ চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উক্ত গ্যাসের 0°C তাপমাত্রায় যে আয়তন হয় তাহার $\frac{1}{273}$ ভগ্নাংশে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়। ইহাই চার্লস সূত্র।

ধরা যাউক, 0°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন V_0. সুতরাং চার্লস সূত্রানুযায়ী,

1°C তাপমাত্রায় উহার আয়তন $= V_0 + V_0 \cdot \frac{1}{273}$

2°C ,, ,, ,, $= V_0 + V_0 \cdot \frac{2}{273}$

t°C ,, ,, ,, $= V_0 + V_0 \cdot \frac{t}{273}$

t°C তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তনকে V ধরা হইলে, $V = V_0(1 + \frac{t}{273})$

তেমনি যদি তাপমাত্রা বৃদ্ধি না করিয়া হ্রাস করা যায়, তবে t°C তাপমাত্রা হ্রাসে গ্যাসের আয়তন $V = V_0(1 - \frac{t}{273})$.

(গ) **রেনোর চাপের সূত্র** (Regnault's pressure law) ঃ আয়তন স্থির থাকিলে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রাবৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উক্ত গ্যাসের 0°C তাপমাত্রায় যে-চাপ হয় তাহার $\frac{1}{273}$ ভাগ বৃদ্ধি

উদাহরণ ঃ (1) 20°C তাপমাত্রায় এবং 760 mm. পারদের চাপে কিছু পরিমাণ বায়ুর আয়তন 1000 c.c. ; কত তাপমাত্রায় এবং 750 mm. পারদের চাপে ঐ বায়ুর আয়তন 1400 c.c. হইবে ?

উঃ। এস্থলে $V_1=1000$ c.c. $V_2=1400$ c.c.

$P_1=760$ mm. $P_2=750$ mm.

$T_2=20+273$ $T_2=?$

আমরা জানি, $\frac{V_1P_1}{T_1}=\frac{V_2P_2}{T_2}$

অথবা, $\frac{1000\times760}{273+20}=\frac{1400\times750}{T_2}$

অথবা, $T_2=\frac{1400\times750\times293}{1000\times760}=404{\cdot}8°A$

সুতরা, সেলসিয়াস স্কেলে $t_2=404{\cdot}8-273=131{\cdot}8°C$.

(2) 10°C তাপমাত্রায় 1 litre গ্যাসকে তাপপ্রয়োগ করিয়া উহার চাপ ও আয়তন দ্বিগুণ করা হইল। তখনকার তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

উঃ। ধরা যাউক, প্রথমে গ্যাসের চাপ P ; উহার আয়তন=1 litre ও তাপমাত্রা=10+273=283°K ; পরে গ্যাসের চাপ=2P এবং আয়তন=2 litre ; T=?

আমরা জানি $\frac{V_1P_1}{T_1}=\frac{V_2P_2}{T_2}$ এক্ষেত্রে $\frac{1\times P}{283}=\frac{2\times2P}{T}$

অথবা, $T=4\times283=1132°K$

সুতরাং, সেলসিয়াস স্কেলে $t=1132-273=859°C$

(3) 27°C উষ্ণতায় এবং 750 মিলিমিটার চাপে কিছু আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন 250 মিলিলিটার। তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিলে, কত চাপে আয়তন এক-দশমাংশ হ্রাস পাইবে ? চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে, কোন্ তাপমাত্রায় আয়তন এক-দশমাংশ বৃদ্ধি পাইবে ? [*M. Exam., 1986*]

উঃ। (i) তাপমাত্রা পরিবর্তন না করিলে, আমরা জানি $P_1V_1=P_2V_2$; এখানে $P_1=750$ মিলিমিটার, $V_1=250$ মিলিলিটার ; $V_2=250-\frac{250}{10}$ $=225$ মিলিলিটার ; $P_2=$?

$\therefore\ 750\times250=P_2\times225\ \therefore\ P_2=\frac{750\times250}{225}=833{\cdot}3$ মিলিমিটার

(ii) চাপ পরিবর্তন না করিলে, আমরা জানি $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$; এখানে $V_1=250$ মিলিলিটার ; $T_1=27+273=300°K$; $V_2=250+\frac{250}{10}=275$ মিলিলিটার ; $T_2=$?

$$\therefore \quad \frac{250}{300}=\frac{275}{T_2} \quad \therefore \quad T_2=\frac{275\times 300}{250}=330°K$$

সেলসিয়াস স্কেলে, নির্ণেয় তাপমাত্রা$=(330-273)=57°C$.

2-21. গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of expansion of gases) :

কঠিন ও তরল পদার্থ অপেক্ষা গ্যাসের প্রসারণশীলতা (expansibility) বা সংনমনশীলতা (compressibility) অনেক বেশী তাহা পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে। ফলে, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রাবৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে ব্যবস্থা অনুযায়ী উহার আয়তনের বৃদ্ধি বা হ্রাস হইতে পারে কিংবা চাপের বৃদ্ধি বা হ্রাস হইতে পারে। এই কারণে গ্যাসের দুই প্রকার প্রসারণ গুণাঙ্ক ধরা হয়। (i) চাপ স্থির রাখিয়া তাপমাত্রার হ্রাসবৃদ্ধিতে যে আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় তাহার দরুন একটি গুণাঙ্ক যাহাকে বলা হয় আয়তন গুণাঙ্ক (volume co-efficient) এবং (ii) আয়তন স্থির রাখিয়া তাপমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধিতে চাপের যে হ্রাসবৃদ্ধি হয়, তাহার দরুন একটি গুণাঙ্ক যাহাকে বলা হয় চাপ গুণাঙ্ক (pressure co-efficient)।

(i) **আয়তন গুণাঙ্ক** (Volume co-efficient) :

সংজ্ঞা : চাপ স্থির রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C হইতে 1°C বৃদ্ধি করিলে উহার প্রতি একক আয়তনে যে-আয়তন বৃদ্ধি হইবে উহাকে উক্ত গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক বলা হয়। এই গুণাঙ্ক সব গ্যাসের বেলাতেই সমান।

মনে কর, 0°C এবং t°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে V_0 এবং V_t ; এক্ষেত্রে তাপমাত্রাবৃদ্ধি$=t-0=t$°C এবং আয়তনবৃদ্ধি $=V_t-V_0$

সুতরাং 1°C তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য আয়তনবৃদ্ধি$=\frac{V_t-V_0}{t}$

এবং প্রতি একক আয়তনে আয়তনবৃদ্ধি$=\frac{V_t-V_0}{V_0 \cdot t}$

$$\therefore \text{ আয়তন গুণাঙ্ক}=\frac{V_t-V_0}{V_0 \cdot t}$$

(ii) **চাপ গুণাঙ্ক** (Pressure co-efficient) ঃ

সংজ্ঞা ঃ আয়তন স্থির রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C হইতে 1°C বৃদ্ধি করিলে উহার প্রতি একক চাপে যে চাপবৃদ্ধি হইবে উহাকেই উক্ত গ্যাসের চাপ গুণাঙ্ক বলা হয়। এই গুণাঙ্কও সব গ্যাসের বেলাতে সমান।

পূর্বের মত, মনে কর, 0°C এবং t°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ যথাক্রমে P_0 এবং P_t ; এক্ষেত্রে তাপমাত্রাবৃদ্ধি$=t-0=t°C$ এবং চাপবৃদ্ধি$=P_t-P_0$.

সুতরাং 1°C তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য চাপবৃদ্ধি$=\dfrac{P_t-P_0}{t}$

এবং প্রতি একক চাপে চাপবৃদ্ধি$=\dfrac{P_t-P_0}{P_0.t}$

$$\therefore \text{ চাপ গুণাঙ্ক}=\frac{P_t-P_0}{P_0.t}$$

উল্লেখযোগ্য যে, কোন গ্যাসের বেলাতে আয়তন গুণাঙ্ক ও চাপ গুণাঙ্ক সমান এবং ইহার মান $\frac{1}{273}$ অথবা ·00366.

প্রশ্নাবলী

1. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে? [*M. Exam., 1985*] ইহা কি দৈর্ঘ্যের একক বা তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে?

2. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। ইহা কি দৈর্ঘ্যের একক বা তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভরশীল? এই কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের ভিতর সম্পর্ক নির্ণয় কর। [*H. S. Exam., 1960*]

3. বিভিন্ন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিভিন্ন তাহা কয়েকটি পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

4. দৈঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক বলিতে কি বুঝায়? ইহার একক কি? তাপজনিত ধাতব প্রসারণের একটি প্রয়োজনীয় ব্যবহার উল্লেখ কর।

5. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির যথাযথ উত্তর লিখ ঃ

(ক) বোতলের গলায় গরম জল ঢালিলে আঁটা ছিপি আলগা হয় কেন?

(খ) রেললাইন পাতার সময় প্রত্যেক দুই টুকরা লাইনের মাঝে খানিকটা ফাঁক থাকে কেন?

(গ) লোহার দৈঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000012 বলিতে কি বোঝ? [*M. Exam., 1983*]

(ঘ) দুইটি বিভিন্ন ধাতুর পাত শক্তভাবে জোড়া লাগাইয়া উত্তপ্ত করিলে বাঁকিয়া যায় কেন?

(ঙ) ধাতুনির্মিত স্কেল বিভিন্ন তাপমাত্রায় নির্ভুলভাবে দৈঘ্য নির্ণয় করিতে পারে না কেন?

6. প্রায় সকল কঠিন পদার্থ তাপ পাইয়া দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে এই প্রসারণ কাজের পক্ষে সুবিধাজনক। আবার কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধাজনক। উদাহরণ দিয়া ইহার সত্যতা প্রমাণ কর।

7. কঠিন পদার্থের ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের দ্বিগুণ ও আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক, দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের তিনগুণ, ইহা প্রমাণ কর। [*M. Exam., 1983, '87*]

8. তরলের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ বলিতে কি বুঝায়? ইহাদের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা কি? এই গুণাঙ্কদ্বয়ের পারস্পরিক সম্পর্ক কি? [*M. Exam., 1984, '87*]

9. তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে?

10. জলের ব্যাতিক্রান্ত প্রসারণ বলিতে কি বুঝায়? [*M. Exam., 1983, '85, '87*]

11. কোন্ তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাধিক? কিছু জলকে 0°C হইতে 10°C পর্যন্ত উষ্ণ করা হইল। জলের ব্যবহার তাপমাত্রা-আয়তন লেখচিত্র আঁকিয়া ব্যাখ্যা কর।

12. 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ। ইহার অর্থ পরিষ্কার করিয়া বুঝাইয়া দাও। পারদ ও জলকে 0°C হইতে উষ্ণ করিলে দু'য়ের ব্যবহারের তফাত কোথায়?

13. হোপের পরীক্ষার দ্বারা কি প্রমাণিত হয়? পরীক্ষার বিশদ বিবরণ দিয়া তোমার উত্তর বুঝাইয়া দাও?

14. নিম্নলিখিত প্রশ্নের জবাব দাও ঃ

(ক) হ্রদের জলের উপর বরফ জমিলেও তলার জল তরল অবস্থায় থাকে কেন?

(খ) জমিয়া যাওয়া নদীতে মাছ বাঁচে কি করিয়া?

15. তাপ প্রয়োগে গ্যাসের প্রসারণ হইবার পরীক্ষা বর্ণনা কর। গ্যাসের আয়তন প্রসারণ উল্লেখে তাপমাত্রা ও চাপের উল্লেখ করিতে হয় কেন?

16. গ্যাসের তাপীয় প্রসারণের বৈশিষ্ট্য কি? গ্যাসের চাপগুণাঙ্ক কাহাকে বলে? [*M. Exam., 1983*]

17. গ্যাসের সূত্র কি? উহাদের ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam., 1980*]

18. নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন, চাপ ও তাপমাত্রার ভিতর যে সম্পর্ক আছে উহা নির্ণয় কর। [*M. Exam., 1980*]

19. চার্লসের সূত্র কি? এই সূত্র হইতে তাপমাত্রার পরম স্কেল কিভাবে পাওয়া যায়? [*M. Exam., 1985, '86*]

20. পরম শূন্য এবং উষ্ণতার চরম স্কেল কাহাকে বলে? [*M. Exam., 1980, '84*]

21. পরম শূন্যের মান সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইটে কত?

22. (i) চাপগুণাঙ্ক এবং (ii) আয়তন গুণাঙ্ক কাহাকে বলে? সকল গ্যাসের বেলায় ইহারা কি সমান?

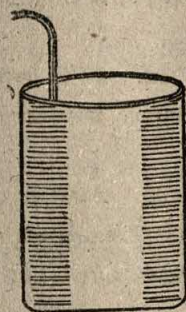
তৃতীয় পরিচ্ছেদ

ক্যালরিমিতি
(Calorimetry)

3-1. ক্যালরিমিতি (Calorimetry) :

তাপ একটি প্রাকৃতিক (physical) রাশি। সুতরাং ইহার পরিমাপ সম্ভব। যখন কোন বস্তু তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিয়া নিজস্ব তাপমাত্রার পরিবর্তন করে তখন যে-পদ্ধতিতে বস্তুর সেই তাপ পরিমাপ করা হয় তাহাকে ক্যালরিমিতি বলে।

ক্যালরিমিটার ও আলোড়ক
চিত্র নং 16

যে-পাত্রের দ্বারা তাপের পরিমাপ করা হয় তাহাকে ক্যালরিমিটার বলে। ক্যালরিমিটার আর কিছুই নয়—তামার একটি চোঙাকতি পাত্র (16 নং চিত্র)। ইহার সহিত তামার তৈয়ারী একটি আলোড়ক (stirrer) থাকে। ক্যালরিমিটারের ভিতরকার তরল পদার্থ নাড়িবার জন্য এই আলোড়কের প্রয়োজন।

3-2. তাপ পরিমাপের একক (Units of measurement of heat) :

পূর্বে বলা হইয়াছে যে, কোন রাশির পরিমাপ করিতে গেলে উহাকে যথোপযুক্ত এককে প্রকাশ করিতে হয়। সুতরাং তাপ পরিমাপের উপযুক্ত একক প্রয়োজন।

তাপ পরিমাপের যে-সমস্ত বিভিন্ন-একক আছে তাহা নিম্নে বলা হইল :

ক্যালরি (Calorie) : এক গ্র্যাম জলের এক ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে এক ক্যালরি বলে। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে তাপের একক ক্যালরি।

বৃটিশ থার্মাল একক (British thermal unit) : এক পাউণ্ড জলের এক ডিগ্রী ফারেনহাইট তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে এক বৃটিশ থার্মাল একক বলে। ইহা এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে তাপের একক। ইংলণ্ডে এই একক সমধিক প্রচলিত।

থার্ম (Therm) : ইহা ইংলণ্ডে প্রচলিত বাণিজ্য-সংক্রান্ত (commercial) তাপের একক। যেমন, ইংলণ্ডে রন্ধন ইত্যাদি কাজের জন্য যে-গ্যাস সরবরাহ করা হয় তাহার দাম প্রতি থার্ম আট পেনি ধরা হয়।

1 থার্ম=100,000 **ব্রিটিশ থার্মাল একক।**

সুতরাং, 100,000 পাউণ্ড জলের এক ডিগ্রী ফারেনহাইট তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহাকে এক থার্ম বলা যাইতে পারে।

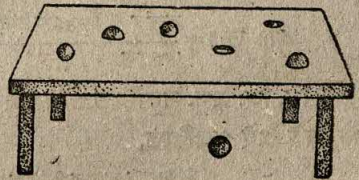
3-3. ক্যালরি ও ব্রিটিশ থার্মাল এককের পারস্পরিক সম্পর্ক ঃ

1 ব্রিটিশ থার্মাল একক=1 পাউণ্ড জলের 1°F উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ
=453·6 গ্রাম 1°F জলের উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ
[∴ 1 পা.=453·6 গ্রাম]
=453·6 গ্রাম জলের $\frac{5}{9}$°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ
=453·6×$\frac{5}{9}$ ক্যালরি। [∴ 1°F=$\frac{5}{9}$°C]
=252 ক্যালরি।

সুতরাং 1 **ব্রিটিশ থার্মাল একক=252 ক্যালরি।**

3-4. আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) ঃ

আমরা যদি সমপরিমাণ বিভিন্ন পদার্থ, যথা—সীসা, লোহা, তামা ইত্যাদি লই এবং উহাদের সমপরিমাণ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যদি তাপ প্রদান করি তবে দেখিব যে, বিভিন্ন পদার্থে বিভিন্ন পরিমাণ তাপ দিতে হইতেছে। সুতরাং বিভিন্ন পদার্থের তাপ গ্রহণ করিবার ক্ষমতা শুধু পদার্থ খণ্ডের ভর বা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলির দ্বারা এই ব্যাপারটি সুন্দরভাবে বোঝা যাইবে।

পরীক্ষা ঃ (1) সীসা, তামা, লোহা ইত্যাদি বিভিন্ন পদার্থের সমান ভরের (mass) কতকগুলি বল লও। তাপ প্রদান করিয়া উহাদের সমান তাপমাত্রা বৃদ্ধি কর। এবার একসঙ্গে তাড়াতাড়ি বলগুলিকে একটি মোমের প্লেটের উপর রাখ।

বলগুলি বিভিন্ন পরিমাণ মোম গলাইতেছে
চিত্র নং 17

দেখিবে যে বলগুলি বিভিন্ন পরিমাণ মোম গলাইবে। কোনটি সম্পূর্ণ গলাইয়া পড়িয়া যাইবে, কোনটি বা অর্ধেক গলাইবে ইত্যাদি [17 নং চিত্র]। ইহা হইতে বোঝা যায় যে, যদিও বলগুলির ভর সমান এবং একই তাপমাত্রায় হ্রাস হইল তবুও তাহারা বিভিন্ন পরিমাণ তাপ ছাড়িয়া দিল।

(2) দুইটি একই ধরনের কেট্‌লি লইয়া উহাতে সমপরিমাণ জল ও দুধ ঢাল। কেট্‌লি দুইটিকে একই উনানের উপর পাশাপাশি রাখ। কিছুক্ষণ পরে উহাদের ভিতরে দুইটি থার্মোমিটার প্রবেশ করাইয়া তাপমাত্রা দেখিলে দেখিতে

পাইবে যে, জল অপেক্ষা দুধের তাপমাত্রা বেশী। থার্মোমিটারের প্রতি লক্ষ্য রাখিলে দেখা যাইবে যে, দুধের তাপমাত্রাবৃদ্ধি জল অপেক্ষা বেশী হইতেছে। অর্থাৎ, বলা যাইতে পারে যে, পরিমাণে সমান হইলেও এবং একই তাপ পাইলেও দুধ এবং জলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি ভিন্ন হইতেছে।

সুতরাং, বিভিন্ন পদার্থ কর্তৃক তাপ গ্রহণ বা বর্জন শুধু পদার্থগুলির ভর বা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। আবার বিভিন্ন পদার্থের তাপমাত্রা বৃদ্ধিও শুধু পদার্থের ভর বা তাপের উপর নির্ভর করিবে না। পদার্থের একটি বিশেষ ধর্মের উপর উহারা নির্ভর করিবে। এই বিশেষ ধর্মকেই পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে।

উপরিউক্ত প্রথম পরীক্ষায় ধাতব বলগুলি বিভিন্ন তাপ বর্জন করে কারণ বিভিন্ন ধাতুর আপেক্ষিক তাপ এক নহে এবং দ্বিতীয় পরীক্ষায় দুধ এবং জলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি আলাদা হইল, কারণ দুধ ও জলের আপেক্ষিক তাপ আলাদা।

3-5. আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা ঃ

কোন পদার্থের নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ প্রয়োজন তাহা সমভর জলের সমতাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ অপেক্ষা যতগুণ সেই অনুপাতকে উক্ত পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে।

কঠিন বা তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ে জলকে নির্দিষ্ট মান (standard) ধরিয়া লইতে হয়।

যদি বস্তুর এক একক ভর লওয়া হয় এবং 1° ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হয় তবে উপরি-উক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী লেখা যাইবে,

$$\text{আঃ তাঃ} = \frac{\text{বস্তুর 1 একক ভরের } 1^\circ \text{ ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ}}{\text{জলের 1 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,,}}$$

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক গ্র্যাম এবং তাপমাত্রার একক সেলসিয়াস। কাজেই এই পদ্ধতিতে,

$$\text{আঃ তাঃ} = \frac{\text{1 গ্র্যাম বস্তুর } 1^\circ \text{ সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{1 গ্র্যাম জলের } 1^\circ \text{ ,, ,, ,, ,, ,, ,,}}$$

কিন্তু ক্যালরির সংজ্ঞানুযায়ী উপরি-উক্ত অনুপাতের হর (denominator) 1 ক্যালরি।

সুতরাং কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলিতে ঐ পদার্থের 1 গ্র্যাম ভরকে 1° সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যত ক্যালরি তাপ প্রয়োজন তাহার সমান বুঝায়। যথা, তামার আপেক্ষিক তাপ 0·09; ইহার অর্থ এই যে 1 গ্র্যাম তামাকে এক ডিগ্রী সেলসিয়াস উষ্ণ করিতে 0·09 ক্যালরি তাপ প্রয়োজন।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক পাউণ্ড এবং তাপমাত্রার একক ফারেনহাইট। কাজেই এই পদ্ধতিতে,

$$\text{আঃ তাঃ}=\frac{\text{1 পাউণ্ড বস্তুর } 1^\circ \text{ ফাঃ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{1 পাউণ্ড জলের ,, ,, ,, ,, ,, ,,}}$$

কিন্তু বৃটিশ থার্মাল এককের সংজ্ঞা অনুযায়ী উপরি-উক্ত অনুপাতের হর 1 বৃটিশ থার্মাল একক।

সুতরাং কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলিতে ঐ পদার্থের 1 পাউণ্ড ভরকে 1° ফারেনহাইট উষ্ণ করিতে যত বৃটিশ থার্মাল একক তাপ প্রয়োজন তাহার সমান বুঝায়। যেমন, তামার আপেক্ষিক তাপ 0·09; ইহার অর্থ এই যে, 1 পাউণ্ড তামাকে 1° ফারেনহাইট উষ্ণ করিতে 0·09 বৃটিশ থার্মাল একক তাপ প্রয়োজন।

উপরি-উক্ত কারণে কেহ কেহ আপেক্ষিক তাপের জন্য একক ব্যবহার করেন। এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে তাঁহারা প্রতি পাউণ্ডে প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইট বৃটিশ থার্মাল একক (Btu per pound per degree Fahrenheit) এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে প্রতি গ্রামে, প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াসে ক্যালরি (Calorie per gramme per degree Celcius)—এই একক ব্যবহার করেন।

3-6. বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি অথবা হ্রাসের জন্য গৃহীত বা বর্জিত তাপের পরিমাণ (Calculation of heat either absorbed or given out by a body for rise or fall of temperature) ঃ

যদি কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয়, তবে আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি,

1 gm. বস্তু 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে s ক্যালরি

সুতরাং $m$gm ,, ,, ,, ,, ,, ,, ms ক্যালরি

,, ,, t° ,, ,, ,, ,, ,, mst ,,

অতএব 'm' gm ভর (আপেক্ষিক তাপ 's') t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য যদি 'H' ক্যালরি তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে, তবে উপরি-উক্ত হিসাব মত, $H=mst$ ক্যালরি।

অর্থাৎ, গৃহীত বা বর্জিত তাপ=বস্তুর ভর×ইহার আপেক্ষিক তাপ× তাপমাত্রার বৃদ্ধি বা হ্রাস।

যদি তাপ গ্রহণের পূর্বে বস্তুর তাপমাত্রা t_1 থাকে এবং তাপ গ্রহণের পর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া t_2 দাঁড়ায়, তবে তাপমাত্রার বৃদ্ধি$=(t_2-t_1)$ এবং সেক্ষেত্রে

$$H=m.s.(t_2-t_1) \text{ ক্যালরি}$$

উদাহরণ ঃ (1) একটি তামার বস্তুর ওজন 180 গ্রাম। তামার আপেক্ষিক তাপ 0·09. বস্তুটির তাপমাত্রা 25°C হইতে 95°C বৃদ্ধির জন্য কত তাপ লাগিবে?

উঃ এক্ষেত্রে, $m=180$ গ্র্যাম ; $s=0{\cdot}09$; $t_1=25°C$; $t_2=95°C$

সতরাং $H=m.s.(t_2-t_1)$
$=180\times0.09(95-25)$
$=180\times0.09\times70$
$=18\times9\times7=1134$ calories

(2) 2·5 পাউণ্ড অ্যালকোহলের তাপমাত্রা 68°F হইতে উহার স্ফুটনাঙ্ক 173°F পর্যন্ত বৃদ্ধির জন্য কত তাপের প্রয়োজন হইবে? (অ্যালকোহলের আপেক্ষিক তাপ=0·6)

উঃ। এস্থলে $m=2{\cdot}5$ পাউণ্ড ; $s=0{\cdot}6$; $t_1=68°F$; $t_2=173°F$

$H=m.s.(t_2-t_1)$
$=2{\cdot}5\times0.6(173-68)$
$=2{\cdot}5\times0.6\times105$
$=157{\cdot}5$ বৃটিশ থার্মাল একক।

[দ্রষ্টব্য ঃ দুইটি উদাহরণের বিভিন্ন রাশির একক লক্ষ্য কর।]

3-7. বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা (Thermal capacity of a body) ঃ

কোন বস্তুর 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ প্রয়োজন তাহাকে ঐ বস্তুর তাপগ্রাহিতা বলে।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কোন বস্তুর 1° সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যত ক্যালরি তাপ প্রয়োজন, তাহাই সেই বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা। যদি বস্তুর ভর হয় m gm. এবং আপেক্ষিক তাপ হয় s, তবে বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা (C) উক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী দাঁড়ায়,

$C=m\times s\times1$ ক্যালরি
$=ms$ ক্যালরি।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কোন বস্তুর 1° ফারেনহাইট তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য বৃটিশ থার্মাল একক অনুযায়ী যত তাপ প্রয়োজন, তাহাই ঐ বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা। যদি বস্তুর ভর হয় m lb এবং আপেক্ষিক তাপ s, তবে ঐ বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা,

$C=m\times s\times1$ বৃটিশ থার্মাল একক
$=ms$ বৃটিশ থার্মাল একক।

কাজেই, বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা=বস্তুর ভর×ইহার আপেক্ষিক তাপ।

3-8. বস্তুর জল-সম (Water equivalent of a body) ঃ

কোন বস্তুর 1° ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে-তাপ লাগে তাহা যে-পরিমাণ জলকে 1° ডিগ্রী সেলসিয়াস উষ্ণ করিবে সেই পরিমাণ জলকে ঐ বস্তুর জলসম বলে।

যেমন, একটি ক্যালরিমিটারের জল-সম 10 গ্র্যাম বলিতে ইহাই বুঝায় যে, 10 গ্র্যাম জলকে 1°C উষ্ণ করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহা ক্যালরিমিটারকেও 1°C উষ্ণ করিবে। অর্থাৎ, 10 গ্র্যাম জল-সম সম্পন্ন ক্যালরিমিটারের ভিতর যদি 100 গ্র্যাম জল লওয়া হয় তবে তাপ গ্রহণ বা বর্জনের ব্যাপারে আমরা মনে করিতে পারি যে ক্যালরিমিটার নাই—তৎপরিবর্তে 110 গ্র্যাম জল আছে।

ধর, কোন বস্তুর ভর m গ্র্যাম ও আপেক্ষিক তাপ s, তাহা হইলে,

বস্তুটির 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= m \times s \times 1$ ক্যালরি।

এখন আমরা জানি 1 ক্যালরি তাপ 1 গ্র্যাম জলকে 1°C উষ্ণ করে।

সুতরাং ,, $m \times s$,, $m \times s$,, ,, ,, ,, ,,

অর্থাৎ বস্তুর জল-সম $W = m \times s$ গ্র্যাম ;

তেমনি, এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কোন বস্তুর 1 ডিগ্রী ফারেনহাইট তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ লাগে তাহা যে পরিমাণ জলকে 1 ডিগ্রী ফারেনহাইট উষ্ণ করিবে, সেই পরিমাণ জলকে ঐ বস্তুর জল-সম বলা হইবে। কাজেই, ঐ পদ্ধতিতে বস্তুর জল-সম $W = m \times s$. lb

3-9. তাপ-গ্রাহিতা ও জল-সমের পার্থক্য ঃ

(1) তাপ-গ্রাহিতা ও জল-সম উভয়েই বস্তুর ভর ও আপেক্ষিক তাপের গুণফল। অর্থাৎ, উহাদের মান সমান।

(2) তাপ-গ্রাহিতা কিছু পরিমাণ তাপ বুঝায় ; সুতরাং ইহাকে ক্যালরিতে বা বৃটিশ থার্মাল এককে প্রকাশ করা হয়। কিন্তু জল-সম কিছু পরিমাণ জলকে বুঝায় ; ইহাকে গ্র্যামে বা পাউণ্ডে প্রকাশ করা হয়।

উদাহরণ ঃ (1) একটি তামার ক্যালরিমিটারের ওজন 75 গ্র্যাম। তামার আপেক্ষিক তাপ 0·09 হইলে ক্যালরিমিটারের তাপ-গ্রাহিতা ও জল-সম নির্ণয় কর।

উঃ। এস্থলে $m = 75$ গ্র্যাম ; $s = 0{\cdot}09$

সুতরাং তাপ-গ্রাহিতা, $C = m \times s$ ক্যালরি

$= 75 \times 0{\cdot}09$ ক্যালরি

$= 6{\cdot}75$ ক্যালরি।

এবং জল-সম, $W = m \times s$ গ্র্যাম।

$= 75 \times 0{\cdot}09$ গ্র্যাম।

$= 6{\cdot}75$ গ্র্যাম।

(2) A এবং B—এই দুইটি বস্তুর ঘনত্বের অনুপাত 3 ঃ 4 এবং আপেক্ষিক তাপের অনুপাত 4 ঃ 5. যদি উহাদের আয়তন 2 ঃ 3 অনুপাত লওয়া হয়, তবে উহাতে তাপগ্রাহিতার অনুপাত নির্ণয় কর।

উঃ। ধর, A বস্তুর ঘনত্ব, আপেক্ষিক তাপ এবং আয়তন যথাক্রমে d_1, S_1 এবং V_1 ; অনুরূপভাবে B বস্তুর বেলায় উহারা d_2, S_2 এবং V_2.

অতএব A বস্তুর তাপগ্রাহিতা C_1=A বস্তুর ভর×আঃ তাঃ$=V_1 \times d_1 \times S_1$

এবং B ,, ,, C_2=বস্তুর ভর×আঃ তাঃ$=V_2 \times d_2 \times S_2$

$$\therefore \frac{C_1}{C_2} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{S_1}{S_2} = \frac{2}{3} \times \frac{3}{4} \times \frac{4}{5} = \frac{2}{5}$$

3-10. ক্যালরিমিতির মূল নীতি (Principle of calorimetric calculations) ঃ

ধরা যাউক, A এবং B দুইটি বস্তু—A বস্তুর তাপমাত্রা B বস্তু অপেক্ষা বেশী। এই দুইটি বস্তুকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনিলে A তাপ বর্জন করিবে এবং B সেই তাপ গ্রহণ করিবে। ফলে, A বস্তুর তাপমাত্রা কমিতে থাকিবে এবং B বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে। এই তাপ গ্রহণ ও বর্জন চলিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয়ের তাপমাত্রা সমান হয়। যদি মনে করা যায় যে গ্রহণ ও বর্জনের সময় কোন তাপ নষ্ট হইল না, তবে A যে-পরিমাণ তাপ বর্জন করিবে B ঠিক সেই পরিমাণ তাপ গ্রহণ করিবে। অর্থাৎ,

A কর্তৃক বর্জিত তাপ=B কর্তৃক গৃহীত তাপ। ইহাই ক্যালরিমিতির মল নীতি।

উদাহরণ ঃ (1) একখণ্ড কঠিন বস্তুর ওজন 500 গ্র্যাম ও তাপমাত্রা 100°C. ইহাকে 12°C তাপমাত্রায় 100 গ্র্যাম জলের ভিতর ফেলা হইল। যদি ক্যালরিমিটারের জল-সম 10 গ্র্যাম হয় এবং ক্যালরিমিটারের জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া 49°C হয়, তবে কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর।

উঃ। এস্থলে উত্তপ্ত বস্তুটি তাপ বর্জন করিবে এবং ক্যালরিমিটার ও তৎসহ জল সেই তাপ গ্রহণ করিবে।

ধরা যাউক, কঠিন বস্তুর আঃ তাঃ$=s$

কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ=বস্তুর ভর×ইহার আঃ তাঃ×তাপমাত্রা হ্রাস

$=500 \times s \times (100-49)$ ক্যা.

$=25500 \times s$ ক্যা.

জল কর্তৃক গৃহীত তাপ=জলের ভর×ইহার আঃ তাঃ×তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$=100 \times 1 \times (49-12)$ ক্যা.$=3700$ ক্যা.

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ=ইহার জল-সম×তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$=10 \times 1 \times (49-12)$ ক্যালরি$=370$ ক্যা.

যেহেতু, বর্জিত তাপ=গৃহীত তাপ

অতএব, $25500 \times s = 3700 + 370 = 4070$

$\therefore \quad s = \frac{4070}{25500} = 0{\cdot}16$ (প্রায়)

(2) তিন কিলোগ্র্যাম তামার তাপমাত্রা 0°C হইতে 10°C বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন তাহা এক কিলোগ্র্যাম সীসার তাপমাত্রা 10°C হইতে 100°C বৃদ্ধি করে। তামার আপেক্ষিক তাপ 0·093 হইলে সীসার কত ?

উঃ। ধরা যাউক, সীসার আঃ তাঃ $= s$

তিন কিলোগ্র্যাম তামার 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ

$=$তামার ভর $\times$ ইহার আঃ তাঃ $\times$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$= 3000 \times 0{\cdot}093 \times 10$ ক্যা. [3 কিলোগ্র্যাম $=3000$ গ্রাম]

এক কিলোগ্রাম সীসার তাপমাত্রা বৃদ্ধির প্রয়োজনীয় তাপ

$=$সীসার ভর $\times$ ইহার আঃ তাঃ $\times$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$= 1000 \times s \times (100 - 10) = 1000 \times s \times 90$

যেহেতু এই দুই তাপ সমান, অতএব

$1000 \times s \times 90 = 3000 \times 0{\cdot}093 \times 10$

অথবা, $s = \dfrac{3000 \times 0{\cdot}093 \times 10}{1000 \times 90} = 0{\cdot}031$

(3) একটি ক্যালরিমিটারে 16°C তাপমাত্রায় 85 gm. জল আছে। উহার ভিতর 100°C তাপমাত্রায় 80 gm. ওজনের একটি মার্বেল টুক্‌রা ফেলা হইল। জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা হইল 29·8°C। মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর। [ক্যালরিমিটারের জল-সম $=4{\cdot}53$ gm.]

উঃ। ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= 4{\cdot}53 \ (29{\cdot}8 - 16)$ cal.

জল ,, ,, ,, $= 85\ (29{\cdot}8 - 16)$,,

উত্তপ্ত মার্বেল ,, বর্জিত ,, $= 80 \times s \times (100 - 29{\cdot}8)$,,

[$s=$মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ]

যেহেতু, গৃহীত তাপ $=$ বর্জিত তাপ

অতএব, $4{\cdot}53(29{\cdot}8 - 16) + 85(29{\cdot}8 - 16) = 80 \times s(100 - 29{\cdot}8)$

বা, $(29{\cdot}8 - 16)(4{\cdot}53 + 85) = 80 \times s(100 - 29{\cdot}8)$

বা, $13{\cdot}8 \times 89{\cdot}53 = 80 \times s \times 70{\cdot}2$

$\therefore \quad s = \dfrac{13{\cdot}8 \times 89{\cdot}53}{80 \times 70{\cdot}2} = 0{\cdot}22$ (প্রায়)

(4) একটি লোহার পাত্রে 25°C উষ্ণতায় 100 gm জল আছে। উহার মধ্যে 60°C উষ্ণতায় 50 gm জল ঢালিলে চূড়ান্ত উষ্ণতা দাঁড়ায় 35°C। পাত্রের জলসম কত ? পাত্রটির ভর 250 gm হইলে লোহার আপেক্ষিক তাপ কত ?

[*M. Exam.*, *1983*]

উঃ। ধর, W=পাত্রের জলসম।

উষ্ণ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ=উষ্ণ জলের ভর$\times$উষ্ণতার হ্রাস

$$=50\times(60-35)=1250 \text{ cal}$$

[জলের আঃ তাঃ=1]

পাত্র কর্তৃক গৃহীত তাপ=পাত্রের জলসম$\times$উষ্ণতা বৃদ্ধি

$$=W(35-25)=10 W \text{ cal.}$$

পাত্রের ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ=ঠাণ্ডা জলের ভর$\times$উষ্ণতা বৃদ্ধি

$$=100(35-25)=1000 \text{ cal.}$$

যেহেতু বর্জিত তাপ=গৃহীত তাপ

সেইহেতু $10W+1000=1250$ অথবা $10W=250$ $\therefore$ $W=25$gm

আবার, জলসম W=পাত্রের ভর$\times$লোহার আঃ তাঃ

$\therefore$ $25=250\times s$ অথবা $S=\dfrac{25}{250}=0{\cdot}1$

কয়েকটি কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপের তালিকা

কঠিন পদার্থ	আঃ তাঃ	তরল পদার্থ	আঃ তাঃ
পিতল	0·09	অ্যালকোহল	0·6
তামা	0·092	কেরোসিন তেল	0·45–0·4
কাচ	0·16	পারদ	0·033
লোহা	0·117	সরিষার তেল	0·5
মার্বেল	0·22	তার্পিন তেল	0·42
বরফ	0·51	জল	1

3-11. জলের আপেক্ষিক তাপ উচ্চ হইবার ফল (Effects of high specific heat of water) ঃ

আপেক্ষিক তাপের উপরোক্ত তালিকা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, সকল প্রকার কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপের তুলনায় জলের আপেক্ষিক তাপ অনেক বেশী। ফলে, নির্দিষ্ট পরিমাণ জল 1° ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য যে-তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিবে সমভর যে-কোন কঠিন বা তরল পদার্থ ঐ তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য অনেক কম তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিবে। জলের এই উচ্চ আপেক্ষিক তাপের জন্য জলকে আমরা তাপশক্তির এক বিরাট ভাণ্ডার (store-house) বলিয়া মনে করিতে পারি। ইহা উষ্ণ অথবা শীতলীকরণের একটি বিশেষ সহায়ক বস্তু। শীতলীকরণের জন্য স্টীম-এঞ্জিন বা পেট্রল-এঞ্জিনে জল ব্যবহৃত হয় এবং উষ্ণকরণের জন্য এবং সেঁক

দিবার জন্য গরম জলের বোতল বা গরম জলের ব্যাগ (hot water bag) ব্যবহার করা হয়। এ ছাড়া শীতপ্রধান দেশে বাড়ীঘর গরম রাখিবার জন্য পাইপের সাহায্যে ঘরে ঘরে গরম জলের প্রবাহ পাঠানো হয়। সমুদ্রের বিরাট জলরাশিতে প্রচুর তাপশক্তি সঞ্চিত থাকে; ইহা নানারকমভাবে সমুদ্র-তীরবর্তী স্থানসমূহের জলবায়ুকে প্রভাবান্বিত করে। সমুদ্রতীরের স্থান নাতিশীতোষ্ণ—অর্থাৎ শীতকালে খুব ঠাণ্ডা হয় না আবার গ্রীষ্মকালে খুব গরম হয় না। তাই বলা হয় সমুদ্র উপকূলে চিরবসন্ত বিদ্যমান। জলের আপেক্ষিক তাপ উচ্চ হওয়ায় জল অপেক্ষা স্থল দ্রুত উত্তপ্ত হয় এবং তাপ ছাড়িয়া দ্রুত ঠাণ্ডা হয়। ইহার ফলে স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু (land and sea breeze) উদ্ভব হয়।

3-12. লীন-তাপ (Latent heat) :

কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে উহার তাপমাত্রার পরিবর্তন হয়। থার্মোমিটারের সাহায্যে এই তাপমাত্রার পরিবর্তন লক্ষ্য করিয়া আমরা বুঝিতে পারি যে, বস্তুটি তাপ গ্রহণ করিতেছে। কিন্তু 0°C তাপমাত্রায় একখণ্ড বরফে যদি তাপ প্রদান করা হয় তবে দেখা যাইবে যে থার্মোমিটারে কোন তাপমাত্রা পরিবর্তন দেখাইতেছে না। অথচ তাপ গ্রহণ করিয়া বরফ আস্তে আস্তে গলিয়া যাইতেছে। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্ত বরফ টুক্‌রাটি গলিয়া জল হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত তাপ প্রদান সত্ত্বেও তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হইবে না। পরে যখন বরফ সম্পূর্ণ গলিয়া জল হইবে তখন সেই জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। তাহা হইলে টুক্‌রাটির গলন শুরু হইতে শেষ পর্যন্ত যে তাপ প্রদান করা হইল তাহা কোথায় গেল? এই তাপ বরফ টুক্‌রার গলনে সাহায্য করিল কিন্তু ইহার কোন বাহ্যিক প্রকাশ হইল না। **এইরূপ যে-কোন বস্তু কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত হইতে কিছু তাপ গ্রহণ করে যাহা থার্মোমিটারের সাহায্যে ধরা যায় না।** এইজন্য এই তাপকে **লীন-তাপ** বলে।

আবার খানিকটা জল লইয়া যদি আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা করা যায় তবে থার্মোমিটারে তাপমাত্রার হ্রাস দেখা যাইবে। জল ঠাণ্ডা করার অর্থ এই যে জল উহার নিজস্ব তাপ আস্তে আস্তে বর্জন করিতেছে। এই তাপ বর্জন করিতে করিতে যখন জলের তাপমাত্রা 0°C পৌঁছাইবে, তখন জল জমিয়া বরফ হইতে শুরু করিবে। ঠিক তখনই থার্মোমিটারে আর কোন তাপমাত্রার পরিবর্তন দেখা যাইবে না। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্ত জল বরফে পরিণত হইবে ততক্ষণ তাপমাত্রা 0° সেলসিয়াসেই থাকিবে যদিও সমস্ত সময়ই জল তাপ বর্জন করিতে থাকিবে। এইরূপ যে-কোন তরল পদার্থ জমিয়া কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে কিছু তাপ বর্জন করে যাহা থার্মোমিটারের সাহায্যে ধরা যায় না। ইহাকেও লীন-তাপ বলে।

অর্থাৎ, পদার্থের অবস্থান্তর হইলে উহা কিছু তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে যাহার বাহ্যিক প্রকাশ হয় না। এই তাপকে লীন-তাপ বলা হয় কারণ এই তাপ পদার্থে লীন (hidden) হইয়া থাকে।

3.13. **গলনের লীন-তাপ** (Latent heat of fusion) ঃ

তাপমাত্রার কোনরূপ পরিবর্তন না করিয়া কোন বস্তুর এক একক ভরকে কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত করিতে যে-তাপের প্রয়োজন উহাকে উক্ত পদার্থ গলনের লীন-তাপ বলা হয়।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক গ্রাম ও তাপের একক ক্যালরি। সুতরাং এই পদ্ধতিতে কোন বস্তুর এক গ্রাম ভরকে তাপমাত্রা পরিবর্তন না করিয়া কঠিন হইতে তরল অবস্থায় পরিবর্তিত করিতে যত ক্যালরি তাপ প্রয়োজন হয় উহাকে উক্ত পদার্থ গলনের লীন-তাপ বলা হইবে।

যেমন, বরফ গলনের লীন-তাপ 80 ক্যালরি। ইহার অর্থ এই যে 0° সেলসিয়াস তাপমাত্রায় 1 গ্র্যাম বরফকে 0° সেলসিয়াস তাপমাত্রায় 1 গ্র্যাম জলে পরিণত করিতে 80 ক্যালরি তাপ দিতে হইবে।

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, 0°C তাপমাত্রায় 1 গ্র্যাম বরফের সহিত 0°C তাপমাত্রার 1 গ্র্যাম জলের পার্থক্য এই যে উক্ত জলে উক্ত বরফ অপেক্ষা 80 ক্যালরি বেশী তাপ রহিয়াছে।

এই কারণে 0°C তাপমাত্রায় জল রাখিলে জল তরল অবস্থাতেই থাকিবে। উহাকে বরফে পরিণত করিতে হইলে উহা হইতে গ্র্যাম প্রতি 80 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন করিতে হইবে। অর্থাৎ 0°C তাপমাত্রায় 1 গ্র্যাম জল যখন 0°C তাপমাত্রায় 1 গ্র্যাম বরফে পরিণত হইবে তখন উহা 80 ক্যালরি তাপ বর্জন করিবে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বরফ গলনের লীন-তাপ প্রকাশ করিতে হইলে বরফের ভরকে পাউণ্ডে এবং তাপকে বৃটিশ থার্মাল এককে প্রকাশ করিতে হইবে। যেহেতু lb=453·6 gm, এবং 1 Btu.=252 calories, এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বরফ গলনের লীন-তাপ $=\frac{80\times453{\cdot}6}{252}=144$ Btu. per lb.

কয়েকটি পদার্থ গলনের লীন-তাপের তালিকা

পদার্থ	লীন-তাপ	
বরফ	80	ক্যা
সীসা	5·86	,,
রূপা	21·07	,,
টিন	14·0	,,

উদাহরণ ঃ (1) একটি তামার ক্যালরিমিটারের ওজন 112·5 গ্রাম এবং খানিকটা জল ভর্তি করায় ওজন হইল 187·5 গ্র্যাম। জলের তাপমাত্রা 30°C ; ইহাতে কয়েক টুক্‌রা বরফ ফেলাতে তাপমাত্রা হ্রাস পাইয়া 24·5°C হইল। পরে ক্যালরিমিটার ওজন করা হইল এবং দেখা গেল ওজন 192 গ্র্যাম। যদি তামার আঃ তাঃ 0·1 হয়, তবে বরফ গলনের লীন-তাপ নির্ণয় কর।

উঃ। ধর, বরফ গলনের লীন-তাপ $=L$ cal.

জলের ওজন $=187{\cdot}5-112{\cdot}5=75$ গ্র্যাম

বরফের „ $=192-187{\cdot}5=4{\cdot}5$ „

শুধু বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ=বরফের ভর×লীন-তাপ $=4{\cdot}5L$ ক্যা. বরফ-গলা জলের তাপমাত্রা 0°C হইতে 24·5°C বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ

=জলের ভর×তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$=4{\cdot}5\times(24{\cdot}5-0)=4{\cdot}5\times24{\cdot}5=110{\cdot}25$ ক্যাঃ

সুতরাং মোট গৃহীত তাপ $=4{\cdot}5L+110{\cdot}25$ ক্যাঃ

ক্যালরিমিটার কর্তৃক বর্জিত তাপ

=ইহার ভর×আঃ×তাঃ×তাপমাত্রা হ্রাস

$=112{\cdot}5\times0{\cdot}1\times(30-24{\cdot}5)$

$=112{\cdot}5\times0{\cdot}1\times5{\cdot}5$

$=61{\cdot}87$ ক্যাঃ

জল কর্তৃক বর্জিত তাপ=ইহার ভর×তাপমাত্রার হ্রাস

$=75\times(30-24{\cdot}5)$

$=75\times5{\cdot}5$

$=412{\cdot}5$ ক্যাঃ

∴ মোট বর্জিত তাপ $=412{\cdot}5+61{\cdot}87$

$=474{\cdot}37$ ক্যাঃ

যেহেতু গৃহীত তাপ=বর্জিত তাপ

অতএব $4{\cdot}5L+110{\cdot}25=474{\cdot}37$

অথবা, $4{\cdot}5L=364{\cdot}12$; সুতরাং $L=\dfrac{364{\cdot}12}{4{\cdot}5}=80{\cdot}9$ ক্যাঃ

(2) 2·86 গ্র্যাম ওজনের একখণ্ড বরফকে 35°C তাপমাত্রার 45 গ্র্যাম কোন তেলে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। যে-ক্যালরিমিটারের ভিতর তেল আছে উহার জল-সম 7·5 গ্র্যাম। তেলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 25°C হইল। তেলের আঃ তাঃ 0.5 হইলে বরফ-গলনের লীন-তাপ নির্ণয় কর।

উঃ। $2{\cdot}86$ গ্রাম বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $=2{\cdot}86\times L$ ক্যাঃ

$2{\cdot}86$ গ্রাম বরফ গলা জল $0°C$ হইতে $25°C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইতে প্রয়োজনীয় তাপ $=2{\cdot}86\times(25-0)=2{\cdot}86\times25=71{\cdot}5$ ক্যাঃ

ক্যালরিমিটার কর্তৃক বর্জিত তাপ = ইহার জল-সম × তাপমাত্রার হ্রাস

$=7{\cdot}5\times(35-25)$

$=7{\cdot}5\times10$

$=75$ ক্যাঃ

তেল কর্তৃক বর্জিত তাপ $=45\times0{\cdot}5\times(35-25)$

$=45\times0{\cdot}5\times10$

$=225$ ক্যাঃ

যেহেতু মোট গৃহীত তাপ = মোট বর্জিত তাপ

অতএব, $2{\cdot}86\times L+71{\cdot}5=75+225=300$

অথবা, $2{\cdot}86\times L=228{\cdot}5$

$$\therefore\quad L=\frac{228{\cdot}5}{2{\cdot}86}=79{\cdot}8 \text{ ক্যাঃ (প্রায়)}$$

(3) একটি পাত্রে 90 gm জল আছে। উহাতে $0°C$ উষ্ণতার 10 gm বরফ ফেলাতে সব বরফ গলিয়া গেল এবং জলের তাপমাত্রা হ্রাস পাইয়া $10°C$ হইল। পাত্রের প্রাথমিক তাপমাত্রা নির্ণয় কর। বরফ গলনের লীন-তাপ = 80 cal/gm এবং পাত্রের জলসম = 10 gm. [*M. Exam., 1986*]

উঃ। ধরা যাক্ পাত্রের প্রাথমিক তাপমাত্রা $t°C$. এবং জলসম = W এক্ষেত্রে, পাত্রস্থ জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $=90\times(t-10)$ cal.

পাত্র ,, ,, ,, $=W(t-10)$ cal. $=10(t-10)$ cal.

∴ মোট বর্জিত তাপ $=90\times(t-10)+10(t-10)$

$=100t-1000$ cal.

$0°C$ উষ্ণতার বরফ গলিতে প্রয়োজনীয় তাপ = বরফের ভর × গলনের লীন-তাপ

$=10\times80=800$ cal.

গলা জলের উষ্ণতা $0°$ হইতে $10°C$ বৃদ্ধিতে প্রয়োজনীয় তাপ $=10\times10$

$=100$ cal.

∴ মোট গৃহীত তাপ $=800+100=900$ cal.

অতএব, $100t-1000=900$ অথবা $t=19°C$

(4) $-10°C$ তাপমাত্রায় 5 gm. বরফ $30°C$ তাপমাত্রার 20 gm. জলে ফেলা হইল। সমস্ত বরফ গলিবে কি? গলিলে মিশ্রণের তাপমাত্রা কত

হইবে? বরফের আপেক্ষিক তাপ=0.5 এবং বরফ গলনের লীন-তাপ=80 cal./gm. [*M. Exam.*, *1982*]

উঃ। বরফ গলিতে গেলে প্রথমত বরফের উষ্ণতা -10°C হইতে 0°C-এ আসিতে হইবে। তারপর প্রতি গ্রামে 80 cal তাপ লইয়া গলিতে হইবে। এই প্রয়োজনীয় তাপ যদি উষ্ণ জল হইতে পাওয়া যায় তবে সমস্ত বরফ গলিবে।

প্রথম স্তরের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ=বরফের ভর×ইহার আঃ তাঃ×তাপমাত্রাবৃদ্ধি$=5\times0{\cdot}5\times[0-(-10)]=5\times0{\cdot}5\times10=25$ cal.

দ্বিতীয় স্তরের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ$=5\times80=400$ cal.

সুতরাং মোট প্রয়োজনীয় তাপ$=400+25=425$ cal.

20 gm. উষ্ণ জলের তাপমাত্রা 30°C হইতে 0°C হ্রাস পাইলে মোট বর্জিত তাপ$=20\times(30-0)=20\times30=600$ cal.

যেহেতু বর্জিত তাপ সমস্ত বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ অপেক্ষা বেশী, কাজেই বোঝা যাইতেছে সমস্ত বরফ গলিবে এবং যে অতিরিক্ত তাপ থাকিবে তাহা মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা 0°C অপেক্ষা কিছু ঊর্ধ্বে তুলিবে।

ধরা যাক, মিশ্রিত জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা$=t^\circ$C; কাজেই উষ্ণ জলের তাপমাত্রা 30°C হইতে t°C হ্রাস পাইলে বর্জিত তাপ$=20\times(30-t)$

$$=600-20t \text{ cal.}$$

বরফকে -10°C হইতে 0°C তাপমাত্রার বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ=25 cal. (উপরে দেখ) এবং বরফকে শুধু গলাইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ$=5\times80=400$ cal.

বরফগলা জলের 0°C হইতে t°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $=5\times(t-0)=5\times t$ cal.

যেহেতু বর্জিত তাপ=গৃহীত তাপ,

অতএব, $600-20t=425+5\times t$ অথবা, $25t=175 \quad \therefore \quad t=7^\circ$C.

প্রশ্নাবলী

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সঠিক সংজ্ঞা লেখ:—(i) আপেক্ষিক তাপ, (ii) ক্যালরি, (iii) বৃটিশ থার্মাল একক, (iv) থার্ম, (v) তাপগ্রাহিতা, (vi) জল-সম। [*M. Exam.*, *1981*, *'83*, *'86*]

2. 100°C তাপমাত্রায় এক পাউণ্ড লোহা ও এক পাউণ্ড সীসা বরফে রাখিলে লোহা বেশী বরফ গলায় কেন?

3. তাপের একক কি? আপেক্ষিক তাপ কাহাকে বলে? [*M. Exam.*, *1984*]

4. সমান ভরের বিভিন্ন দ্রব্যে একই তাপ প্রয়োগ করিলে তাপমাত্রা কি ভিন্ন হইবে?

[*M. Exam., 1979*]

5. বস্তুর তাপগ্রাহিতা ও জল-সম কাহাকে বলে? উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি? ইহাদের একক কি?

[*M. Exam., 1984*]

6. 'সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·03'—ইহা ব্যাখ্যা কর। তাপগ্রাহিতার সংজ্ঞা লেখ। দুইটি একই ধরনের কেটলীতে সম-পরিমাণ জল ও দুধ রাখিয়া আগুনের উপর পাশাপাশি রাখা হইল। জল অপেক্ষা দুধের তাপমাত্রা বৃদ্ধি দ্রুত দেখা গেল। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

[*H. S. Exam., 1960*]

7. নিম্নলিখিত রাশিগুলি নির্ণয়ের পদ্ধতি সবিস্তারে বর্ণনা কর: (ক) ক্যালরিমিটারের জলসম, (খ) কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ।

8. (i) সমুদ্র-তীরবর্তী স্থানের জল-হাওয়ার উপর জলের উচ্চ আপেক্ষিক তাপের প্রভাব কি? (ii) সেঁক দিবার বোতলে গরম পদার্থ হিসাবে জল লইবার সুবিধা কি?

9. লীন-তাপ কাহাকে বলে? বরফ গলনের লীন-তাপ প্রতি গ্র্যামে 80 calories বলিতে কি বুঝায়?

10. কোন্‌টি বেশী ঠাণ্ডা সৃষ্টি করিবে—0°C তাপমাত্রার 100 গ্রাম বরফ, না 0°C তাপ-মাত্রার 100 গ্রাম জল?

● **Objective type :**

11. (*a*) হইতে (*e*) উক্তিগুলি শুদ্ধ কি অশুদ্ধ নির্ধারণ কর:

(a) 100,000 lb জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে-তাপের প্রয়োজন, তাহাকে এক বৃটিশ থার্মাল একক তাপ বলে।

(b) সি. জি. এস্ বা এফ্. পি. এস্—যে-কোন পদ্ধতিতেই পদার্থের আপেক্ষিক তাপ প্রকাশিত হউক না কেন, উহার সংখ্যাগত মান সর্বদা এক।

(c) অন্যান্য কঠিন ও তরলের আপেক্ষিক তাপের তুলনায় জলের আপেক্ষিক তাপ অনেক বেশী।

(d) 0°C উষ্ণতার 1 gm বরফে 0°C উষ্ণতার 1 gm জল অপেক্ষা বেশী তাপ আছে।

(e) বরফ গলনের লীনতাপ 80 cal.

12. নিম্নলিখিত প্রশ্নের তিনটি বিকল্প দেওয়া আছে। উপযুক্ত বিকল্প স্থির করিয়া A, B, C এবং D উত্তরগুলির মধ্যে কোন্‌টি শুদ্ধ বল:

বস্তু কর্তৃক শোষিত তাপ H নিম্নভাবে প্রকাশ করা যায়: $H = m.s.t$; নিম্নলিখিত বিকল্পের কোন্‌টি শুদ্ধ: (i) 'm' বস্তুর ভর বুঝাইতেছে (ii) s বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব বুঝাইতেছে (iii) t বস্তুর উচ্চতম তাপমাত্রা বুঝাইতেছে।

A (i) (ii) এবং (iii) ; B ; কোনটা নয় ; C (i) কেবল মাত্র ; D (i) এবং (ii) ; E মাত্র (i) এবং (iii) ।

অঙ্ক ঃ

13. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে গৃহীত তাপ নির্ণয় কর ঃ—(i) 75 gm. জলকে 16°C হইতে 100°C-এ উষ্ণ করিতে, (ii) 36 lb. জলকে 60°F হইতে 212°F পর্যন্ত উষ্ণ করিতে, (iii) 5 litre জলকে 15°C হইতে 80°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে, (iv) 7 gm. তামাকে 15°C হইতে 200°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে। তামার আপেক্ষিক তাপ=0·1.

[Ans. (i) 6300 cal, (ii) 5472 Btu, (iii) 325,000 cal, (iv) 129.5 cal.]

14. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে ধাতুগুলির আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর ঃ (i) 15°C তাপমাত্রায় 200 gm. জলে 100°C তাপমাত্রায় 100 gm. তামা ফেলাতে জলের তাপমাত্রা 19°C-এ বর্ধিত হইল, (ii) 16°C তাপমাত্রায় 100 gm. জলে 99°C তাপমাত্রার 300 gm. সীসা ফেলাতে জলের তাপমাত্রা 23°C-এ বর্ধিত হইল, (iii) 50°F তাপমাত্রার 1.25 lb. জলে 200°F তাপমাত্রার 1 lb পারদ মিশানো হইলে জলের তাপমাত্রা 53·5°F-এ বর্ধিত হইল। [Ans. (i) 0.0938, (ii) 0.0307, (iii) 0.0299]

15. 20 gm. ভরবিশিষ্ট কোন বস্তুর জল-সম 10 gm. হইলে, উহার আপেক্ষিক তাপ কত? উহার তাপগ্রাহিতা কত? [*M. Exam., 1979*] [Ans. 0.5 ; 10 cal.]

[Hints : জলসম=ভর×আঃ তাঃ ; অতএব, $10=20\times S$ অথবা $S=0{\cdot}5$]

16. 10 gm. জলে 1 Btu. তাপ প্রয়োগ করিলে উহার তাপমাত্রাবৃদ্ধি কত হইবে?

[*M. Exam. 1979*] [Ans. 25·2°C]

[*Hints* : 1 Btu.=252 cal.]

17. 80°C তাপমাত্রায় 50 gm. জল একটি পাত্রে ফেলা হইল। ঐ পাত্রে 12°C তাপমাত্রার 10 gm. জল ছিল। মিশ্রিত জলের অন্তিম তাপমাত্রা 46°C হইলে পাত্রটির জল-সম নির্ণয় কর। [*M. Exam., 1981*] [Ans. 10 gm.]

18. 100°C তাপমাত্রায় 80 gm. লোহা 20°C তাপমাত্রায় 200 gm. জলে ফেলিলে মিশ্রণের তাপমাত্রা কত হইবে নির্ণয় কর। উক্ত জল 50 gm. ওজনের একটি লোহার পাত্রে ছিল। [লোহার আঃ তাঃ=0·12] [Ans. 23.5°C]

19. একটি 200 gm. ওজনের প্ল্যাটিনাম বল জ্বলন্ত চুল্লী হইতে 0°C তাপমাত্রার গ্র্যাম 150 জলে ফেলা হইল। যদি প্ল্যাটিনাম বল কর্তৃক বর্জিত সম্পূর্ণ তাপ জল গ্রহণ করে এবং জলের তাপমাত্রা 30°C হয়, তবে চুল্লীর তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

[প্ল্যাটিনামের আঃ তাঃ=·031] [Ans. 755.8°C]

20. 200 gm সীসাকে উত্তপ্ত করিয়া 100°C তাপমাত্রা করার পর উহাকে একটি পাত্রে রাখা 200 gm. তরল পদার্থে ফেলা হইল। তরলের আপেক্ষিক তাপ 0·5 এবং প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C হইলে অন্তিম তাপমাত্রা কত হইবে? পাত্র কোন তাপ গ্রহণ করে না মনে করা যাইতে পারে। [সীসার আঃ তাঃ=0·03] [*H. S. Exam., 1960*] [Ans. 5·66°C]

21. সমপরিমাণ গরম জল ও বরফ মিশানো হইল। বরফ গলিয়া জল হইবার পর মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা 0°C রহিল। গরম জলের তাপমাত্রা কত ছিল? [Ans. 80°C]

22. 50 গ্র্যাম ভরের একখণ্ড লোহা অগ্নিকুণ্ডে উষ্ণ করিয়া একটি জলপূর্ণ পাত্রে ফেলা হইল। পাত্রের জল সম 10 gm. ও উহাতে 50°C উষ্ণতার 240 gm. জল ছিল। তাপমাত্রা বাড়িয়া 60°C হইল। অগ্নিকুণ্ডের তাপমাত্রা কত? [লোহার আপেক্ষিক তাপ=0·1]

[*M. Exam· 1982*] [Ans. 560°C]

23. 20 gm. ভরের একখণ্ড লোহা 500°C উষ্ণ অগ্নিকুণ্ড হইতে একটি জলপূর্ণ পাত্রে ফেলা হইল। পাত্রের জল-সম 10 gm. ও উহাতে 90 gm. জল 25°C তাপমাত্রায় থাকিলে জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হইবে? [লোহার আঃ তাঃ=0·1]

[*M. Exam. 1984*] [Ans. 34.3°C]

24. 45°C উষ্ণতার 4 gm জলের সহিত 2 gm বরফ মিশাইলে ফল কি হইবে? বরফ গলনের লীনতাপ=80 cal/gm.

[Ans. সব বরফ গলিবে এবং চূড়ান্ত তাপমাত্রা=3.3°C]

25. 100 gm তামার টুকরাকে 100°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করিয়া 100 gm ওজনের ক্যালরিমিটারে রাখা জলে ফেলা হইল। ক্যালরিমিটারে 40 gm বরফ-জলের মিশ্রণ আছে। চূড়ান্ত তাপমাত্রা 10°C হইলে, ক্যালরিমিটারে বরফের পরিমাণ কি ছিল? বরফের লীনতাপ =80 cal/gm ; তামার আঃ তাঃ=0·09. [Ans. 4 gm]

26. 50 gm ভরের লৌহপিণ্ডের তাপমাত্রা 10°C হইতে 30°C বৃদ্ধি করিতে কত তাপের প্রয়োজন হইবে? লৌহপিণ্ডের তাপগ্রাহিতা এবং জলসম কত? লৌহের আঃ তাঃ=0·11

[*M. Exam., 1985*] [Ans. 110 cal ; 5.5 cal ; 5·5 gm]

27. 27°C উষ্ণতার 250 gm সীসাখণ্ডকে ফার্নেসে রাখিয়া সম্পূর্ণ গলানো হইল। নিম্নলিখিত বিষয়গুলি নির্ণয় কর ঃ

(I) সীসাখণ্ডকে গলনাঙ্কে লইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ (ii) গলনাঙ্ক উষ্ণতায় খণ্ডকে গলাইতে প্রয়োজনীয় তাপ। সীসার গলনাঙ্ক=327°C ; আঃ তাঃ=0·03 এবং গলনের লীনতাপ=5·4 cal/gm [Ans. (i) 2250 cal (ii) 1350 cal]

28. 120 gm জলে কিছু তাপ প্রয়োগ করিয়া জলের উষ্ণতা 10°C বৃদ্ধি করা হইল। একই পরিমাণ তাপ 60 gm তেলে প্রয়োগ করিলে তেলের উষ্ণতা 40°C বৃদ্ধি পায়। জলে প্রযুক্ত মোট তাপ এবং তেলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর। [Ans. 1200 cal ; 0·5]

পদার্থের অবস্থা-পরিবর্তন
(Change of state of matter)

4-1. সূচনা ঃ

আমরা জানি পদার্থ তিন রকম অবস্থায় থাকিতে পারে ; যথা ঃ কঠিন, তরল ও বায়বীয়। যখন কোন পদার্থ কঠিন হইতে তরলে অথবা তরল হইতে বায়বীয় অবস্থাতে অথবা বায়বীয় হইতে তরলে ইত্যাদি এক অবস্থা হইতে অন্য কোন অবস্থাতে পরিবর্তিত হয় তখন তাহাকে পদার্থের অবস্থা-পরিবর্তন বলা হয়।

কঠিন হইতে তরল অবস্থায় রূপান্তর

4-2. গলন ও কঠিনীভবন (Melting and Solidification) ঃ

ধর, এক টুকরা বরফ $-10°C$ তাপমাত্রায় রাখা আছে। ঐ বরফ টুকরাতে যদি তাপ প্রয়োগ করা হয় তবে দেখা যাইবে যে উহার তাপমাত্রা বাড়িতেছে। **যখন তাপমাত্রা $0°C$ হইল তখন তাপ প্রয়োগ সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না, কিন্তু বরফ গলিয়া জল হইতে শুরু করিবে।** যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত বরফ গলিয়া জল হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত তাপ প্রয়োগ সত্ত্বেও তাপমাত্রা $0°C$ থাকিবে। পরে বরফগলা জলের তাপমাত্রা আস্তে আস্তে বৃদ্ধি পাইবে।

তেমনি যদি খানিকটা বিশুদ্ধ জল লইয়া ক্রমাগত ঠাণ্ডা করা যায় তবে জলের তাপমাত্রা হ্রাস পাইবে। যখন তাপমাত্রা $0°C$-এ পৌঁছিবে তখন ঠাণ্ডা করা সত্ত্বেও জলের তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না, কিন্তু জল জমিয়া বরফ হইতে শুরু করিবে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত জল জমিয়া বরফে পরিণত হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত ঠাণ্ডা করা সত্ত্বেও তাপমাত্রা $0°C$ থাকিবে। পরে বরফের তাপমাত্রা আস্তে আস্তে হ্রাস পাইবে।

উপরের ঘটনা হইতে বলা যায়, যে কোন পদার্থে তাপ প্রয়োগ করিলে প্রথমত উহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পৌঁছিলে কঠিন পদার্থ গলিতে শুরু করে এবং তখন তাপ প্রয়োগ সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন হয় না, যতক্ষণ পর্যন্ত পদার্থ গলিয়া তরলে পরিণত হইবে। এই ব্যাপারকে পদার্থের **গলন** বলা হয়।

তেমনি, কোন তরল পদার্থ হইতে তাপ নিষ্কাশন করিলে প্রথমত উহার তাপমাত্রা হ্রাস পায় কিন্তু একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পৌঁছিলে **তরল পদার্থ জমিয়া কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে শুরু করে** এবং তখন তাপ নিষ্কাশন সত্ত্বেও তাপমাত্রার আর কোন পরিবর্তন হয় না, যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল জমিয়া কঠিন হয়। এই ব্যাপারকে পদার্থের **কঠিনীভবন** বলা হয়।

4-3. পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক (Melting point and freezing point of a substance)

কোন নির্দিষ্ট চাপে কঠিন পদার্থ যে-তাপমাত্রায় গলিতে শুরু করে তাহাকে উক্ত পদার্থের গলনাঙ্ক বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত পদার্থ গলিয়া যায় ততক্ষণ ঐ তাপমাত্রা স্থির থাকে।

কোন নির্দিষ্ট চাপে তরল যে-তাপমাত্রায় জমিতে শুরু করে তাহাকে উক্ত তরলের হিমাঙ্ক বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল জমিয়া যায় ততক্ষণ ঐ তাপমাত্রা স্থির থাকে।

যে-কোন কেলাসাকার পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক এক। যেমন, সাধারণ বায়ুমণ্ডলের চাপে বরফ 0°C-এ গলিয়া যায়। আবার জল ঐ তাপমাত্রাতেই জমিয়া বরফে পরিণত হয়। কিন্তু কতকগুলি অকেলাস পর্যায়ভুক্ত পদার্থ আছে, যেমন—চর্বি, মোম, কাচ, মাখন ইত্যাদি যেগুলি গলিবার পূর্বে একপ্রকার থক্‌থকে (viscous) অবস্থায় উপস্থিত হয়। এই পদার্থগুলির কোন বিশেষ নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই বা ইহাদের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক সমান নয়। যেমন—মাখন 28°C এবং 33°C উষ্ণতার মধ্যে গলে এবং 23°C এবং 20°C-এর মধ্যে জমিয়া যায়। কিন্তু এ-কথা মনে রাখিতে হইবে যে, কোন পদার্থের গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক ধ্রুবক নয়।

4-4. গলনে বা কঠিনীভবনে আয়তনের পরিবর্তন (Change of volume during melting or solidification) ঃ

সাধারণত কঠিন পদার্থ তরলে পরিণত হইলে আয়তনে প্রসারণ হয় এবং তরল পদার্থ কঠিনে পরিণত হইলে আয়তনের সংকোচন হয়। ইহাই সাধারণ নিয়ম। কিন্তু জল, ঢালাই লোহা (cast iron), পিতল, বিসমাথ, অ্যান্টিমনি প্রভৃতি পদার্থ এই নিয়মের ব্যতিক্রম। ইহারা তরলে পরিণত হইলে আয়তনে সংকুচিত হয় এবং তরল অবস্থা হইতে কঠিনে পরিণত হইলে আয়তনে প্রসারিত হয়। যথা, 0°C তাপমাত্রায় 11 c.c. জল জমিয়া বরফে পরিণত হইলে 12 c.c. হয় অর্থাৎ শতকরা 9 ভাগ আয়তনে বৃদ্ধি পায়। তেমনি ঢালাই লোহা প্রায় শতকরা 7 ভাগ আয়তনে বৃদ্ধি পায়।

সুবিধা-অসুবিধা ঃ শীতের দেশে যখন জল জমিয়া বরফে পরিণত হয় তখন আয়তন বৃদ্ধির জন্য নানারকম অসুবিধা হয়। অনেক সময় দেখা গিয়াছে যে জলের পাইপে জল জমিয়া বরফে পরিণত হইয়াছে এবং আয়তন বৃদ্ধির জন্য যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হইয়াছে তাহাতে জলের পাইপ ফাটিয়া গিয়াছে। প্রচণ্ড শীতে পাহাড়ের পাথরে একই কারণে ফাটলের সৃষ্টি হয়।

কিন্তু লোহা বা পিতল যখন তরল হইতে কঠিন পদার্থে পরিণত হয় তখন

উহাদের আয়তন বৃদ্ধি অনেক কাজের সুবিধা করে। ঢালাই করিবার সময় ছাঁচের ভিতর ছাঁচকে পুরোপুরি ভর্তি করিয়া গলিত ধাতু ঢালিয়া দেওয়া হয় এবং উহা যখন জমিয়া শক্ত হয় তখন আয়তনে বাড়িয়া ছাঁচকে পরিপূর্ণভাবে আঁটিয়া ধরে। ফলে ঢালাইয়ের ধারগুলি খুব সূক্ষ্ম হয় এবং অবিকল ছাঁচের আকার পায়। টাইপ করিবার হরফগুলি একই পদ্ধতিতে তৈয়ারী করা হয়।

4-5. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on melting point) ঃ

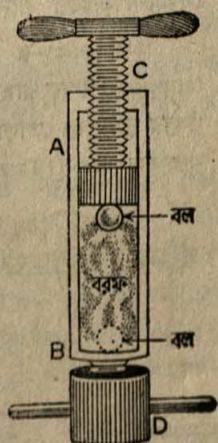
আগেই বলা হইয়াছে যে, কোন পদার্থের গলনাঙ্ক চাপের উপর নির্ভর করে। চাপ ও গলনাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক নিম্নরূপ ঃ

(1) গলনের ফলে যে-সমস্ত পদার্থের আয়তন হ্রাস পায়, যেমন—ঢালাই লোহা, বরফ ইত্যাদি, চাপ বৃদ্ধি করিলে ঐ সমস্ত পদার্থের গলনাঙ্ক কমিয়া যায়, অর্থাৎ কম তাপমাত্রায় গলে। ইহার সহজ কারণ এই যে বর্ধিত চাপ পদার্থের আয়তন সংকোচনের সুবিধা করিয়া দেয় এবং তাহার ফলে গলনাঙ্ক কমিয়া যায়।

(2) গলনের ফলে যে সমস্ত পদার্থের আয়তন বৃদ্ধিপায়, যেমন—মোম ইত্যাদি, চাপ বৃদ্ধি করিলে ঐ সমস্ত পদার্থের গলনাঙ্ক বাড়িয়া যায় অর্থাৎ বেশী তাপমাত্রায় গলে। ইহারও সহজ কারণ এই যে বর্ধিত চাপ পদার্থের আয়তন বৃদ্ধির অসুবিধা করিয়া দেয় এবং তাহার ফলে গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।

পরীক্ষা ঃ AB একটি শক্ত লোহার চোঙ্। এই চোঙের তলা একটি স্ক্রু-ছিপি (screw-plug) D দ্বারা আটকানো বা খোলা যাইতে পারে। C একটি হাতলসহ স্ক্রু-পিস্টন। চোঙ্‌কে অর্ধেক জলপূর্ণ কর এবং হিমমিশ্রের সাহায্যে জলকে জমাইয়া বরফে পরিণত কর। ঐ বরফের উপর একটি ধাতব বল রাখ। এইবার চোঙকে বরফে বেষ্টিত করিয়া হাতল ঘুরাইয়া পিস্টন দ্বারা বলটির উপর চাপ প্রয়োগ কর। এখন D স্ক্রু খুলিয়া ফেলিলে দেখা যাইবে যে ধাতব বল তলায় চলিয়া আসিয়াছে কিন্তু ভিতরের বরফ তেমনি জমাট অবস্থায় আছে (18 নং চিত্র)। ইহা কি করিয়া হয় ?

মাউসনের পরীক্ষা ব্যবস্থা
চিত্র নং 18

পিস্টন দ্বারা বলের উপর চাপ প্রয়োগের ফলে বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যায়। অর্থাৎ বরফ 0°C-এর কম তাপমাত্রায় গলিতে সক্ষম হয়। চতুষ্পার্শ্বস্থ তাপমাত্রায় 0°C থাকার ফলে চাপ প্রয়োগস্থলের বরফ গলিয়া জল হয় এবং ধাতব বল নীচে নামে। কিন্তু

যেই চাপ কমিয়া যায় তখন গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায় এবং বরফগলা জল আবার জমাট বাঁধিয়া বরফে পরিণত হয়। এইভাবে ক্রমশ বল নীচে নামিবে এবং উপরের জল আবার বরফে পরিণত হইবে। এই পরীক্ষা ব্যবস্থাটি মাউসন (Mousson) উদ্ভাবন করেন।

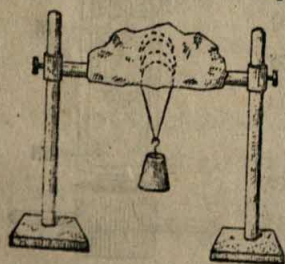
4-6. পুনঃশিলীভবন (Regelation) ঃ

দুই টুক্‌রা বরফ একত্র করিয়া চাপ দিলে উহারা জোড়া লাগিয়া যায়, ইহা তোমরা জান। শিলাবৃষ্টির সময় কতকগুলি শিলা একত্র করিয়া চাপ দিয়া বড় গোলা তৈয়ারী তোমরা অনেকেই করিয়াছ। কেন এইরূপ হয়?

যখন বরফ টুক্‌রা দুইটির উপর চাপ দেওয়া হয় তখন উহাদের সংযোগ-স্থলের গলনাঙ্ক 0°C অপেক্ষা কমিয়া যায়। কিন্তু বরফের তাপমাত্রা 0°C, সংযোগস্থালের তাপমাত্রা গলনাঙ্কের বেশী হওয়ায় ঐ স্থানের বরফ কঠিন অবস্থায় থাকিতে পারে না, গলিয়া জল হয়। যেই চাপ ছাড়িয়া দেওয়া হয় তখন সংযোগ-স্থলের গলনাঙ্ক আবার বাড়িয়া যায়। কিন্তু বরফের তাপমাত্রা 0°C হওয়ায় সংযোগস্থলের বরফ-গলা জল আবার জমাট বাঁধিয়া দুই টুক্‌রাকে জোড়া লাগাইয়া দেয়।

চাপ প্রয়োগে বরফকে গলানো এবং চাপ ছাড়িয়া উহাকে আবার কঠিন অবস্থায় আনাকে **পুনঃশিলীভবন** (regelation) বলা হয়।

নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা পরীক্ষাগারে পুনঃশিলীভবন খুব সুন্দরভাবে দেখানো যাইতে পারে।

Bottomley-র পরীক্ষা ঃ বরফের একটি বড় টুক্‌রা দুইটি অবলম্বনের (support) উপর রাখা আছে। একটি সরু তামার তার বরফের উপর ঝুলাইয়া উহার দুই প্রান্ত জোড়া লাগাও এবং ঐখান হইতে কয়েক কিলোর একটি বাটখারা ঝুলাইয়া দাও [19 নং চিত্র]। দেখা যাইবে যে কিছু সময় পর বাটখারা-সহ তারটি বরফ কাটিয়া বাহির হইয়া আসিল কিন্তু বরফ যেমন অবিভক্ত ছিল তেমনই রহিল।

Bottomley-র পরীক্ষা
চিত্র নং 19

ইহার কারণ এই যে তার সরু হওয়ায় এবং ওজন ঝুলাইয়া দেওয়ায় তারের নীচে বরফের উপর বেশ চাপ পড়ে। ফলে সেই স্থানের বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যায় এবং বরফ গলিয়া জল হয়। ইহার জন্য যে তাপের প্রয়োজন হয় তাহা তার ও বায়ু সরবরাহ করে। এইজন্য

চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুর তাপমাত্রা খুব কম থাকিলে এই ধরনের ব্যাপার ঘটিবে না। এখন তার ঐ জল ভেদ করিয়া নীচে নামে। সঙ্গে সঙ্গে জলের চাপ কমিয়া যায় এবং উহার গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। সুতরাং বরফগলা জল আবার জমাট বাঁধিয়া যায়। এই ঘনীভবনের ফলে কিছু লীন-তাপ ঐ জল পরিত্যাগ করে। এই তাপ তামার তার দ্বারা পরিবাহিত হইয়া নীচে চলিয়া যায় ও নীচের বরফকে গলিতে সাহায্য করে। এইভাবে আস্তে আস্তে তার বরফ কাটিয়া বাহির হইবে কিন্তু বরফ টুক্‌রা দুইভাগে ভাগ হইবে না, কারণ তার নীচে নামিবার সঙ্গে সঙ্গে উপরের জল জমাট বাঁধিবে।

উপরিউক্ত আলোচনা হইতে ইহা সহজে বোঝা যায় যে এই পরীক্ষা সাফল্য-মণ্ডিত করিতে হইলে তার তাপের সুপরিবাহী এবং সরু হওয়া প্রয়োজন। এইজন্য সাধারণত সরু তামার তার লওয়া হয়। সূতা লইলে ইহা আদৌ হইবে না, কারণ সূতা মোটেই তাপ পরিবহন করে না।

তরল হইতে বায়বীয় অবস্থায় রূপান্তর

4-7. বাষ্প এবং বাষ্পীভবন (Vapour and Vapourisation) :

কোন তরলের বায়বীয় অবস্থাকে উক্ত তরলের বাষ্প বলা হয় এবং যে পদ্ধতিতে তরল বাষ্পে পরিণত হয় তাহাকে বাষ্পীভবন বলে ; পূর্বেই বলা হইয়াছে যে নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল বাষ্পে পরিণত হইবার সময় কিছু তাপ গ্রহণ করিবে যাহা বাষ্পে লীন অবস্থায় থাকে। এই তাপকে বাষ্পীভবনের লীপ-তাপ বলে।

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে **গ্যাস ও বাষ্প এক জিনিষ নহে।** ইহাদের মধ্যে পার্থক্য বুঝিয়া রাখা উচিত। আমরা সাধারণভাবে এই দুইটি কথার ভিতর কোন পার্থক্য রাখি না; একই অর্থে দুইটি কথাকেই ব্যবহার করিয়া থাকি। কিন্তু তাহা ঠিক নহে।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, কোন তরল হইতে উদ্ভূত বাষ্পকে যে-কোন তাপমাত্রায় রাখিয়া চাপ প্রয়োগ করিলে উহা পুনরায় তরলীভূত হয় না। তরলী-ভূত করিতে হইলে বাষ্পকে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় অথবা উহা হইতে কম তাপমাত্রায় রাখিয়া চাপ প্রদান করিতে হইবে। ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রাকে বলা হয় **সংকট তাপমাত্রা** (critical temperature)। কোন বাষ্প উহার সংকট তাপ-মাত্রার নিম্নে থাকিলে উহাকে বাষ্প বলা উচিত ; আর সংকট-তাপমাত্রার উর্ধ্বে থাকিলে উহাকে গ্যাস বলা উচিত।

তাছাড়া, বাষ্প হইল কোন তরলের বায়বীয় অবস্থা। যেমন জলীয় বাষ্প, পারদ বাষ্প ইত্যাদি। বাষ্পকে রাসায়নিক পদ্ধতিতে তৈরী করা হয় না।

কিন্তু গ্যাস রাসায়নিক পদ্ধতিতে তৈরী করা হয়। যেমন—অক্সিজেন, হাইড্রোজেন ইত্যাদি।

4-8. বাষ্পীভবনের বিভিন্ন উপায় (Different ways of vapourisation) ঃ

বাষ্পীভবন তিন রকম উপায়ে হইতে পারে। যেমন—(1) বাষ্পায়ন (evaporation), (2) স্ফুটন (boiling or ebullition), (3) উর্ধ্বপাতন (sublimation)।

(1) **বাষ্পায়ন ঃ** ধীরে ধীরে তরল অবস্থা হইতে বাষ্পে পরিণত হওয়ার পদ্ধতিকে বাষ্পায়ন বলে। বাষ্পায়ন তরলের উপর তল হইতে হয় এবং যে-কোন তাপমাত্রায় হইতে পারে। গরমকালে নদী, পুকুর শুকাইয়া যাওয়া, খোলা পাত্রে খানিকটা জল রাখিয়া দিলে কিছুদিন পরে তাহা উবিয়া যাওয়া, ভিজা কাপড় রৌদ্রে দিলে শুকাইয়া যাওয়া প্রভৃতি বাষ্পায়নের দরুন হয়।

(2) **স্ফুটন ঃ** খুব দ্রুত তরল অবস্থা হইতে বাষ্পে পরিণত হওয়ার পদ্ধতিকে স্ফুটন বলা হয়। স্ফুটন জলের বা তরলের সমস্ত অংশ হইতে সংঘটিত হয় এবং পারিপার্শ্বিক চাপের উপর নির্ভর করিয়া একটি নির্দিষ্ট তাপ-মাত্রায় শুরু হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল বাষ্পে পরিণত হয় ততক্ষণ পর্যন্ত এই তাপমাত্রা স্থির থাকে।

(3) **উর্ধ্বপাতন ঃ** কঠিন অবস্থা হইতে সোজাসুজি বাষ্পে পরিণত হওয়াকে বলা হয় উর্ধ্বপাতন। উর্ধ্বপাতনে বস্তু তরল অবস্থায় পরিণত হয় না। কর্পূর, ন্যাপথেলীন প্রভৃতি পদার্থ সোজাসুজি সাধারণ তাপমাত্রাতেই কঠিন হইতে বাষ্পে পরিণত হয়।

4-9. বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের পার্থক্য (Difference between evaporation and boiling) ঃ

বাষ্পায়ন ও স্ফুটন—এই দুই পদ্ধতির ভিতর নিম্নলিখিত প্রভেদ বর্তমান ঃ

(1) স্ফুটন অতি দ্রুত সংঘটিত হয় কিন্তু বাষ্পায়ন অতি ধীরে ধীরে হয়।

(2) স্ফুটন তরলের সমগ্র অংশ ব্যাপিয়া হয়, কিন্তু বাষ্পায়ন তরলের উপর তল হইতে হয়।

(3) স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে স্ফুটন এক নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় শুরু হয় কিন্তু বাষ্পায়ন সকল তাপমাত্রাতেই হইয়া থাকে।

(4) স্ফুটনের সময় সমগ্র তরলে আলোড়নের সৃষ্টি হয় কিন্তু বাষ্পায়নে ঐরকম কোন আলোড়ন হয় না।

4-10. বাষ্পায়নের হার পরিবর্তনের কারণ (Factors influencing rate of evaporation) :

নিম্নলিখিত কারণগুলির জন্য বাষ্পায়নের হার পরিবর্তিত হয়।

(1) **বায়ুর শুষ্কতা :** বায়ু যত শুষ্ক হইবে অর্থাৎ জলীয় বাষ্পের পরিমাণ যত কম থাকিবে বাষ্পায়ন তত দ্রুত হইবে। এই কারণে বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে ভিজা কাপড় দ্রুত শুকাইতে পারে।

(2) **বায়ুমণ্ডলের চাপ :** বায়ুমণ্ডলের চাপ বৃদ্ধির সঙ্গে বাষ্পায়নের হার হ্রাস পায়। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে সম্পূর্ণ বায়ু-শূন্য স্থানে (যেখানে চাপ শূন্য) বাষ্পায়ন অতি দ্রুত সংঘটিত হয়।

(3) **তরল ও তরল-সংলগ্ন বায়ুর তাপমাত্রা :** তরল ও তরল-সংলগ্ন বায়ুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে বাষ্পায়নের হারও বৃদ্ধি পায়। তাই গ্রীষ্মকালে পুকুর, ডোবা প্রভৃতি জলাশয়ের জল শুকাইয়া যায়।

(4) **তরলের উপরিতলের ক্ষেত্রফল :** তরলের উপরিতলের ক্ষেত্রফল যত বেশী হয় বাষ্পায়নও তত দ্রুত হয়। এই কারণে কাপ হইতে চা ডিসে ঢালিলে দ্রুত ঠাণ্ডা হয়।

(5) **তরলের প্রকৃতি :** তরল যত উদ্বায়ী (volatile) হইবে অর্থাৎ স্ফুটনাঙ্ক যত কম হইবে উক্ত তরল হইতে বাষ্পায়নও তত দ্রুত হইবে। এই কারণে, স্পিরিট, ইথার, অ্যালকোহল, পেট্রল প্রভৃতি দ্রুত বাষ্পীভূত হয়।

(6) **বায়ু চলাচল :** তরলের উপর দিয়া যত বায়ু চলাচল হইবে তরল তত শীঘ্র বাষ্পীভূত হইবে। এই কারণে হাওয়া দিলে ভিজা কাপড় বা উষ্ণ তরল তাড়াতাড়ি শুকায় বা ঠাণ্ডা হইয়া যায়।

4-11. বাষ্পায়নে শীতলতা (Cold caused by evaporation) :

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে কোন তরল বাষ্পে পরিণত হইতে গেলে কিছু লীন-তাপ গ্রহণ করে। বাহির হইতে তাপ প্রদান না করিলে, তরল নিজ দেহ হইতে অথবা পারিপার্শ্বিক হইতে তাপ সংগ্রহ করিয়া আস্তে আস্তে বাষ্পে পরিণত হইবে। সুতরাং তরল অথবা পারিপার্শ্বিক ইহার ফলে শীতল হয়। নিম্নে বর্ণিত কতকগুলি উদাহরণ হইতে ইহা স্পষ্ট বোঝা যাইবে।

(1) হাতে কয়েক ফোঁটা স্পিরিট ফেলিলে হাত খুব ঠাণ্ডা মনে হয়। ইহার কারণ স্পিরিট উদ্বায়ী বলিয়া দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয় এবং ইহার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ হাত হইতে সংগ্রহ করে। তখন হাত খুব শীতল মনে হয়। এই কারণে জ্বর হইলে কপালে ওডিকোলনের পটি বা জল-পটি দেয়। জল-পটি হইতে জল বাষ্পীভূত হইবার সময় দেহ হইতে তাপ লয়; ইহাতে জ্বর কমিয়া যায়।

(2) দেহ হইতে যখন ঘাম বাহির হয় তখন পাখার হাওয়া দিলে দেহ শীতল হয়। কারণ হাওয়া দিলে ঘাম বাষ্পে পরিণত হইতে সুবিধা পায় এবং দেহ হইতে প্রয়োজনীয় লীন-তাপ সংগ্রহ করিয়া দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। ফলে দেহ ঠাণ্ডা হয়।

(3) গরমের দিন পানীয় জল ঠাণ্ডা করিবার জন্য জল মাটির কুঁজায় রাখা হয়। কুঁজা মাটির তৈয়ারী বলিয়া ইহার গায়ে অসংখ্য ছিদ্র থাকে। এই ছিদ্র দিয়া জল চোঁয়াইয়া বাহিরে আসে এবং বাষ্পে পরিণত হয়। ইহার জন্য প্রয়োজনীয় লীন-তাপ কুঁজার গাত্র সরবরাহ করে এবং কুঁজা ঠাণ্ডা হইয়া যায়। সুতরাং কুঁজার অভ্যন্তরস্থ জলও ঠাণ্ডা হইয়া যায়। কিন্তু কাচের পাত্রে বা কাঁসার পাত্রে জল রাখিলে তত ঠাণ্ডা হয় না। কারণ, ঐ পাত্রের গায়ে ছিদ্র থাকে না এবং জলের বাষ্পায়নের কোন সুবিধা থাকে না। সেইজন্য জল তেমন ঠাণ্ডা হইতে পারে না।

(4) ভিজা জামা-কাপড় গায়ে শুকাইলে সর্দি লাগিতে পারে। এইজন্য ভিজা জামা-কাপড় গায়ে দিয়া থাকিতে নাই। জামা-কাপড়ের জল দেহ হইতে তাপ লইয়া বাষ্পীভূত হয়। তাহাতে দেহ হঠাৎ শীতল হইয়া পড়ে। তখন ঠাণ্ডা লাগিয়া সর্দি হইবার সম্ভাবনা থাকে।

(5) গরমের দিনে ঘরের জানালায় 'খস্-খস্' ঝুলাইয়া তাহাতে জল ছিটকাইয়া ঘর ঠাণ্ডা রাখা হয়। ইহার কারণ এই যে, খস্খসের জল খস্খস্ হইতে লীন-তাপ সংগ্রহ করিয়া বাষ্পে পরিণত হয়, ফলে খস্খস্ ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। সুতরাং খস্খসের ভিতর দিয়া ঘরে যে হাওয়া আসে তাহাও ঠাণ্ডা হয়।

বাষ্পায়নে যে শীতলতার উৎপত্তি হয় তাহাকে প্রয়োগ করিয়া বরফকল তৈয়ারী হইয়াছে। এই কলে তরল অ্যামোনিয়াকে বাষ্পায়নের সুযোগ দিয়া শীতলতার সঞ্চার করা হয়। তাহাতে জল জমিয়া বরফে পরিণত হয়।

রেফ্রিজারেটারও উপরি-উক্ত প্রক্রিয়া অনুসারে কাজ করে। রেফ্রিজারেটারের অভ্যন্তর খুব শীতল বলিয়া উহার ভিতর মাংস, ডিম, ফল প্রভৃতি পচনশীল দ্রব্যাদি বেশ কিছু দিন টাটকা রাখা যায়।

4-12. তরলের স্ফুটনাঙ্কের সংজ্ঞা ঃ

যে তাপমাত্রায় কোন তরলের স্ফুটন হয় তাহাকে উক্ত তরলের স্ফুটনাঙ্ক (boiling point) বলা হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল বাষ্পে পরিণত হয় ততক্ষণ পর্যন্ত ঐ তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে কিন্তু পারিপার্শ্বিক বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর ঐ তাপমাত্রা নির্ভরশীল।

স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক (Normal boiling point) ঃ

প্রত্যেক তরলেরই একটি স্বাভাবিক (normal) স্ফুটনাঙ্ক আছে অর্থাৎ স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে যে-তাপমাত্রায় তরলের স্ফুটন হয় তাহাকেই **স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক** বলে। যেমন, স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলের চাপে জলের 100°C তাপমাত্রাতে স্ফুটন হয়। সুতরাং 100°C জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক।

4-13. স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effects of pressure on boiling point) ঃ

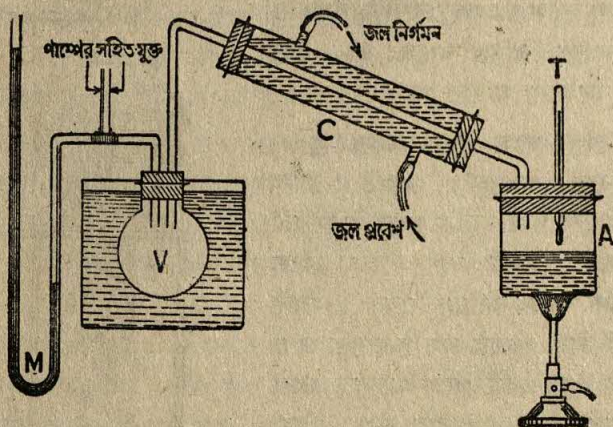
পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, কোন তরলের স্ফুটনাঙ্ক তরলের উপরিস্থ তলে যে চাপ পড়ে তাহার উপর নির্ভরশীল। **চাপ কমাইলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায় অর্থাৎ তরল স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা কম তাপমাত্রায় ফোটে এবং চাপ বাড়াইলে স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায় অর্থাৎ তরল স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা বেশী তাপমাত্রায় ফোটে।** নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা ইহা সুন্দরভাবে দেখানো যাইতে পারে।

চাপ-হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস ঃ
Franklin-এর পরীক্ষা
চিত্র নং 20

(1) **চাপ হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস ; Franklin-এর পরীক্ষা** ঃ একটি গোল তলাযুক্ত কাচের পাত্র অর্ধেক জলভর্তি করিয়া জল ফুটাও। জলের বাষ্প পাত্র হইতে সমস্ত বায়ুকে বাহির করিয়া দিবে। এইবার একটি কর্ক দিয়া পাত্রের মুখ বন্ধ কর এবং কর্কের ফুটা দিয়া একটি থার্মোমিটার ঢুকাও। পাত্রকে গরম করা বন্ধ কর এবং 20 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐ রকম উল্টা করিয়া বসাও। জলের উপরের জায়গা জলীয় বাষ্প দ্বারা পূর্ণ থাকিবে। আগুন সরাইয়া লইবার ফলে জলের স্ফুটন বন্ধ হইবে। এইবার পাত্রের উপর ঠাণ্ডা জল ঢাল। দেখিবে জল পুনরায় ফুটিতে শুরু করিয়াছে অথচ থার্মোমিটারের তাপমাত্রা 100°C হইতে কয়েক ডিগ্রী কম। এইরূপ হইবার কারণ কি?

ঠাণ্ডা জল ঢালার দরুন পাত্রের অভ্যন্তরস্থ জলীয় বাষ্পের খানিকটা

তরলে পরিণত হয় ; ফলে তরলের উপরের চাপ অনেক হ্রাস পায় এবং সঙ্গে সঙ্গে স্ফুটনাঙ্কও হ্রাস পায়। জলের তাপমাত্রা আনুষঙ্গিক স্ফুটনাঙ্কের বেশী থাকায় ঐ কম তাপমাত্রাতেই পুনরায় জল ফুটিতে শুরু করে। সুতরাং এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় যে চাপ-হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস হয়।

(2) **চাপ বৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি ; Regnault-এর পরীক্ষা ঃ** এই পরীক্ষার প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা 21 নং চিত্রে প্রদর্শিত হইল। V একটি বায়ুপূর্ণ তামার বর্তুলাকার পাত্র। ইহার সহিত একটি সরু নল দ্বারা বায়ুনিরুদ্ধ তামার স্ফুটন-পাত্র (boiler) A সংযুক্ত। ঐ নলকে ঠাণ্ডা রাখিবার জন্য উহার গায়ে আর একটি জলের মোটা পাইপ C লাগানো আছে। এই ব্যবস্থাকে শীতক (condenser) বলে। উহার একমুখ দিয়া ঠাণ্ডা জল প্রবেশ করে এবং অন্য মুখ দিয়া বাহির হইয়া যায়। A-স্ফুটন-পাত্রে পরীক্ষাধীন তরল লইয়া উহার ভিতর একটি থার্মোমিটার T এমনভাবে ঢুকানো থাকে যে থার্মোমিটার তরলের খানিকটা উপরে থাকে। V-পাত্র একটি জলগাহের (water-bath) মধ্যে

চাপ বৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি ঃ Regnault-এর পরীক্ষা ব্যবস্থা

চিত্র নং 21

রাখা হয় যাহাতে উহার তাপমাত্রায় তারতম্য না ঘটে। এই V-পাত্রের সহিত একটি বায়ুসংনমন পাম্প ও একটি ম্যানোমিটার M যুক্ত থাকে। পাম্প দ্বারা V-পাত্রের বায়ুর চাপ বৃদ্ধি করা যায় এবং ম্যানোমিটার দ্বারা ঐ চাপ পরিমাপ করা হয়।

কার্যপ্রণালী ঃ প্রথমে V-পাত্রের বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান করিয়া A-পাত্র গরম কর। পাত্রের তরল বাষ্প হইয়া C-শীতক বেষ্টিত সরু নলে প্রবেশ করিবে কিন্তু শীতক দ্বারা ঠাণ্ডা হইয়া পুনরায় তরল অবস্থায়

A-পাত্রে ফিরিয়া আসিবে। ইহার ফলে তরলের উপর চাপের কোন তারতম্য হইবে না---ইহা বায়ুমণ্ডলের চাপের সমানই থাকিবে। ক্রমাগত তাপপ্রদান করাতে এক সময় স্ফুটনপাত্রের তরল ফুটিতে শুরু করিবে। তখন থার্মোমিটার একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা দেখাইবে। ইহাই তরলের স্ফুটনাঙ্ক।

এইবার পাম্প চালাইয়া V-পাত্রের বায়ুর চাপ বৃদ্ধি কর যাহাতে ইহা বায়ুমণ্ডলের চাপকে ছাড়াইয়া যায়। ইহার ফলে তরলের উপরের চাপও বায়ুমণ্ডলের চাপকে ছাড়াইয়া যাইবে। এইবার স্ফুটনপাত্রে তাপ প্রয়োগ কর। দেখিবে যে, যখন তরল ফুটিতে আরম্ভ করিবে তখন থার্মোমিটারে তাপমাত্রা পূর্বের স্ফুটনাঙ্ক হইতে অনেক বেশী। এইভাবে V-পাত্রের বায়ুচাপ ক্রমশ বৃদ্ধি করিলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক ক্রমশ বৃদ্ধি পাইবে।

চাপহ্রাসে স্ফুটনাঙ্ক হ্রাস পায়---ইহাও এই ব্যবস্থা দ্বারা দেখানো যাইতে পারে। ইহার জন্য V-পাত্রের সহিত বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প (exhaust pump) লাগাইয়া পাত্র হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইতে হইবে। ইহাতে স্ফুটনপাত্রের তরলের উপরিস্থ চাপ হ্রাস পাইবে। দেখা যাইবে যে তরল অনেক কম তাপমাত্রায় ফুটিতেছে।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, 27 m.m. বায়ুর চাপ বৃদ্ধি বা হ্রাসের ফলে জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক (100°C) 1°C করিয়া বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

পাহাড়ের উপর বায়ু-চাপ কম থাকায় জল কম তাপমাত্রায় ফোটে। এই কারণে পাহাড়ের উপর মাংস, ডিম প্রভৃতি সুসিদ্ধ হয় না। এই খাদ্য দ্রব্যগুলি রন্ধনের জন্য পাহাড়ের উপর Pressure cooker নামক একপ্রকার যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। ইহাতে চাপ বৃদ্ধি করিয়া কৃত্রিম উপায়ে জলকে 100°C-এ ফুটানো হয়।

প্রেসার কুকার ঃ 22 নং চিত্রে ঐরূপ একটি কুকার দেখানো হইয়াছে। চাপ বৃদ্ধি করিয়া কৃত্রিম উপায়ে জলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি এই যন্ত্রের নীতি। ইহা অ্যালুমিনিয়াম নির্মিত মোটা দেওয়ালের একটি পাত্র। রবার প্যাডের বেষ্টনী দ্বারা ঢাকনীকে পাত্রের মুখে বায়ু-নিরুদ্ধভাবে আটকানো যায়। ঢাকনীতে একটি ছিদ্র আছে এবং ঐ ছিদ্রের মুখ একটি পিনভাল্‌ভ বন্ধ করিয়া রাখে। কোন ওজনের সহায়তায় ভাল্‌ভকে ছিদ্র মুখে আটকাইয়া রাখা হয়। বিভিন্ন ওজন ব্যবহার করিলে পিন ভাল্‌ভ বিভিন্ন চাপে ছিদ্র বন্ধ

প্রেসার কুকার চিত্র নং 22

করিবে এবং তাহার ফলে কুকারের অভ্যন্তরস্থ স্টীমের চাপ বিভিন্ন হইবে। এইভাবে জলকে 120°C কিংবা আরও বেশী তাপ মাত্রায় ফুটানো যায়। ইহাতে রান্নার সময় কম লাগে এবং জ্বালানীও কম লাগে। যদি স্টীমের চাপ হঠাৎ বেশী হইয়া পড়ে তাহা হইলে নিরাপদ ভাল্ভ খুলিয়া যাইবে এবং অতিরিক্ত চাপ লাঘব হইবে। ইহাতে পাত্র ভাঙিবার ভয় থাকে না। এই ধরনের কুকারে দশ মিনিট সময়ে মাংস সুসিদ্ধ করা যায়। এই কুকারকে 'পেপিনের ডাইজেস্টার' (Pepin's digester) এই নামেও অভিহিত করা হয়; কারণ সম্ভবত 1681 খ্রীষ্টাব্দে ডেনিস পেপিন নামে জনৈক ফরাসী ইহা উদ্ভাবন করেন।

4-14. তরলের স্ফুটনাঙ্কের উপর প্রভাবকারী উপাদান (Factors influencing the boiling point of a liquid) :

নিম্নলিখিত উপাদানগুলি যে-কোন তরলের স্ফুটনাঙ্কের উপর প্রভাব বিস্তার করিবে।

(1) **তরলের উপরিস্থ চাপ :** যে-চাপের অধীনে তরলকে ফুটিতে দেওয়া হইবে ঐ চাপের উপর ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ভর করে। চাপ বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে ও চাপ কমিলে স্ফুটনাঙ্ক কমে। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে প্রতি 27 m.m. বায়ুচাপ হ্রাস-বৃদ্ধির ফলে জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক (100°C) 1°C করিয়া হ্রাস-বৃদ্ধি পায়।

(2) **তরলে দ্রবীভূত অবস্থায় অপদ্রব্যের** (impurities) **অবস্থান :** তরলে অপদ্রব্য দ্রবীভূত অবস্থায় থাকিলে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ তরল অপেক্ষা বেশী হয়। যেমন, বিশুদ্ধ জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 100°C; কিন্তু জলে সাধারণ লবণ দ্রবীভূত অবস্থায় থাকিলে, ঐ জলের স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 9°C বাড়িয়া যায়। এই কারণে কোন তরলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করিবার সময় থার্মোমিটারের কুণ্ড কখনও তরলে নিমজ্জিত করিতে নাই। তরল হইতে উদ্ভূত বাষ্পের সংস্পর্শে রাখিতে হয়। বাষ্পের তাপমাত্রা তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের সমান থাকে।

(3) **স্ফুটনপাত্রের উপাদান :** পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, কোন তরলের স্ফুটনাঙ্ক স্ফুটনপাত্রের উপাদান ও পরিষ্কার-পরিচ্ছন্নতার দ্বারা কিছু পরিমাণে প্রভাবান্বিত হয়। যেমন, তামা ও কাচ-পাত্রে জল ফুটাইলে, কাচপাত্রের বেলাতে জলের স্ফুটনাঙ্ক বেশী হয়।

4-15. গলন ও স্ফুটনের মধ্যে সাদৃশ্য (Similarity between melting and boiling) :

গলন ও স্ফুটনের মধ্যে নিম্নলিখিত সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায় :

(i) উভয় প্রক্রিয়াতেই পদার্থের অবস্থান্তর হয় এবং এই অবস্থান্তর স্থির

তাপমাত্রায় সংঘটিত হয়। গলনের ক্ষেত্রে এই স্থির তাপমাত্রাকে বলা হয় গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনের ক্ষেত্রে বলা হয় স্ফুটনাঙ্ক।

(ii) উভয় প্রক্রিয়াতেই কিছু তাপ শোষিত হয়।

(iii) উভয় প্রক্রিয়ায় পদার্থের অবস্থান্তরকালে সাধারণত আয়তনের পরিবর্তন ঘটে।

(iv) গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক চাপের উপর নির্ভরশীল।

(v) কোন দ্রবণের হিমাঙ্ক বিশুদ্ধ দ্রাবকের হিমাঙ্ক অপেক্ষা কম হয় এবং দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা বেশী হয়। উভয় ক্ষেত্রেই এই পার্থক্য দ্রবণে দ্রাবকের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

(vi) উপযুক্ত ব্যবস্থা গ্রহণ করিয়া কোন বিশুদ্ধ তরল পদার্থকে ধীরে ধীরে শীতল করিতে থাকিলে উহার তাপমাত্রা স্বাভাবিক হিমাঙ্কের নিচে গেলেও তরল অবস্থাতেই থাকিতে পারে। ইহাকে বলা হয় **অতি-শীতলীকরণ** (super-cooling)। অনুরূপভাবে, কোন বিশুদ্ধ তরলকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করিতে থাকিলে, উহার তাপমাত্রা স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক ছাড়াইয়া গেলেও উহা তরল অবস্থায় থাকিতে পারে। এই ঘটনাকে বলা হয় **অতি-উত্তপ্তকরণ** (super-heating)।

4-16. বাষ্পীভবনের লীনতাপ (Latent heat of vaporisation) :

কিছু পরিমাণ জল লইয়া তাপ প্রয়োগে উষ্ণ কর। জলের তাপমাত্রা ক্রমশ বৃদ্ধি পাইবে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি থার্মোমিটারের সাহায্যে লক্ষ্য করা যাইবে। জলের তাপমাত্রা ক্রমশ বৃদ্ধি পাইতে পাইতে যখন 100°C হইবে তখন দেখা যাইবে, জলের তাপমাত্রা আর বৃদ্ধি পাইতেছে না কিন্তু জল তাপ গ্রহণ করিয়া ফুটিতেছে এবং স্টীমে পরিণত হইতেছে। অর্থাৎ এই তাপের বাহ্যিক প্রকাশ হইল না কিন্তু ইহা জলকে তরল হইতে স্টীমে পরিণত করিতে সাহায্য করিল। তাপ-মাত্রার পরিবর্তন না করিয়া তরল হইতে বাষ্পে রূপান্তরণের জন্য যে তাপের প্রয়োজন হয়, তাহাকে ঐ তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বলে।

সংজ্ঞা : তাপমাত্রার পরিবর্তন না করিয়া একক ভরের কোন তরলকে উহার স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কে বাষ্পীভূত করিতে যে তাপ প্রয়োজন হয় তাহাকে ঐ তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বলে।

যেমন স্টীমের লীন-তাপ প্রতি গ্রামে 537 ক্যালরি। ইহার অর্থ, 100°C তাপমাত্রায় (জলের স্ফুটনাঙ্ক) 1 গ্রাম জলকে স্টীমে পরিণত করিতে 537 ক্যালরি তাপ প্রয়োজন। আবার, 1 গ্রাম স্টীম যখন 100°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম জলে পরিণত হইবে তখন উহা ঐ 537 ক্যালরি তাপ পরিত্যাগ করিবে।

সুতরাং দেখা যাইতেছে, 100°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম জল ও ঐ তাপমাত্রায় 1 গ্রাম স্টীমের ভিতর অন্তর্নিহিত তাপ সম্বন্ধে পার্থক্য আছে। স্টীমের তাপ জলের তাপ অপেক্ষা অনেক বেশী। এই কারণে, 100°C তাপমাত্রার স্টীমে হাত যেরূপ পুড়িবে ঐ তাপমাত্রার ফুটন্ত জলে তত পুড়িবে না।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে স্টীমের লীনতাপ হইবে $=\frac{537\times453\cdot6}{252}=966\cdot6$ ব্. থা. এ. প্রতি পাউণ্ডে।

উদাহরণ ঃ (1) 100 গ্রাম জলসমযুক্ত একটি পাত্রে 40°C তাপমাত্রার 500 গ্রাম জল আছে। 100°C তাপমাত্রার স্টীম জলে পাঠানো হইল। কত গ্রাম স্টীম পাঠাইলে জলের তাপমাত্রা স্ফুটনাঙ্কে পৌঁছাইবে? স্টীমের লীন-তাপ=537 ক্যালরি গ্রাম।

উঃ। ধর, m gm স্টীম প্রয়োজন হইল।

এখন জল ও পাত্রের তাপমাত্রা 40°C হইতে 100°C (জলের স্ফুটনাঙ্ক) পর্যন্ত বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপ $=(100+500)\times(100-40)=600\times60$ ক্যালরি। 100°C তাপমাত্রার স্টীম ঐ তাপমাত্রার জলে ঘনীভূত হইয়া এই তাপ সরবরাহ করিবে।

এই উদ্দেশ্যে 537 ক্যালরি তাপ পাওয়া যাইবে 1 গ্রাম স্টীম হইতে,

∴ ,, 600×60 ,, ,, ,, $\frac{600\times60}{537}=66\cdot2$ গ্রাম হইতে।

(2) 11° উষ্ণতায় 480 গ্রাম জলের মধ্যে 100°C উষ্ণতায় 11·5 গ্রাম স্টীম প্রবাহিত করা হইল। উষ্ণতা বাড়িয়া 25°C হইল। পাত্রের ভর 190 গ্রাম এবং উহার আপেক্ষিক তাপ 0·1 হইলে, স্টীমের লীন-তাপ কত?

[*M. Exam., 1979*]

উঃ। জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $=480\times(25-11)=480\times14$ ক্যালরি; পাত্র কর্তৃক গৃহীত তাপ $=190\times0\cdot1\times(25-11)=19\times14$ ক্যালরি। অতএব, মোট গৃহীত তাপ $=480\times14+19\times14=6986$ ক্যালরি। স্টীম জলে ঘনীভূত হইলে, বর্জিত তাপ $=11\cdot5\times L$ ক্যালরি এবং জলের তাপমাত্রা 100°C হইতে 25°C হ্রাস পাইলে, বর্জিত তাপ $=11\cdot5\times(100-25)=11\cdot5\times75$ ক্যালরি।

অতএব, $6986=11\cdot5\times75+11\cdot5\times L$

অথবা, $6123\cdot5=11\cdot5\times L$

$L = 532\cdot5$ ক্যালরি/গ্রাম।

(3) 0°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম বরফকে 100°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম জলীয় বাষ্পে পরিণত করিতে কত তাপ লাগে? বরফের লীনতাপ=80 cal/gm ; জলীয় বাষ্পীভবনের লীনতাপ=540 cal/gm. [*M. Exam., 1984*]

উঃ। 1 gm. বরফকে 0°C তাপমাত্রায় জলে গলাইতে প্রয়োজনীয় তাপ= বরফের ভর $\times$ গলনের লীনতাপ $=1\times80=80$ cal.

ঐ জলকে 100°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করিতে প্রয়োজনীয় তাপ=জলের ভর $\times$ তাপমাত্রার পার্থক্য $=1\times100=100$ cal.

ঐ জলকে 100°C উষ্ণতায় বাষ্পে পরিণত করিতে প্রয়োজনীয় তাপ=জলের ভর $\times$ বাষ্পীভবনের লীনতাপ $=1\times540=540$ cal.

অতএব, মোট প্রয়োজনীয় তাপ $=80+100+540=720$ cal.

প্রশ্নাবলী

1. পদার্থের গলন ও কঠিনীভবন কাহাকে বলে? প্লাটিনামের গলনাঙ্ক 1755°C বলিতে কি বুঝায়? পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক কি সমান?

2. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব কি? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও।
[*M. Exam., 1979 '84*]

3. পুনঃশিলীভবন কাহাকে বলে? পরীক্ষাগারে উহা দেখাইবার প্রণালী বর্ণনা কর।

4. গলনের বা জমাট বাঁধিবার সময় কোন পদার্থের আয়তনের কিরূপ পরিবর্তন হয়? উদাহরণ সহ আলোচনা কর।

5. বাষ্পায়ন ও স্ফুটন কাহাকে বলে? উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি? উহারা কি কি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল? [*M. Exam., 1981, 83, 86, 87*]

6. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ :—

(ক) গরমকালে পাখার হাওয়ায় আরাম বোধ হয় কেন? (খ) মাটির কুঁজায় জল রাখিলে জল ঠাণ্ডা হয় কিন্তু ধাতবপাত্রে রাখিলে হয় না কেন? (গ) ভিজা কাপড় গায়ে শুকানো ঠিক নয় কেন? (ঘ) গরমকালে জানালায় খস্ খস্ টাঙানো হয় কেন? (ঙ) দুই টুকরা বরফকে একসঙ্গে করিয়া চাপ দিলে জোড়া লাগে কেন? (চ) 100°C তাপমাত্রায় স্টীমের সংস্পর্শে হাত যেমন পোড়ে, 100°C জলের সংস্পর্শে তেমন পোড়ে না। কেন?

7. কোন্ কোন্ কারণের উপর বাষ্পায়নের হার নির্ভর করে?

8. স্ফুটনাঙ্ক কাহাকে বলে? তরলের উপরকার চাপের সহিত ইহার সম্পর্ক কি? পরীক্ষা দ্বারা তোমার উত্তরের ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam., 1985, '87 '88*]

9. তরলের স্ফুটনাঙ্ক কোন্ কোন্ কারণের উপর নির্ভর করে? স্ফুটনের নিয়ম কি?

10. কোন তরল পদার্থকে তাহার নিজস্ব স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে অনেক কম উষ্ণতায় ফুটানো সম্ভব—এই উক্তির সমর্থনে একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। [*M. Exam., 19*

11. একটি ফ্লাস্কে কিছু জল রাখিয়া উত্তপ্ত করা হইল। জল বেশ কিছুক্ষণ ফুটিবার পর ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ করিয়া আগুন হইতে সরাইয়া লওয়া হইল। অতঃপর ফ্লাস্কটিকে ঠাণ্ডা জলে ডুবাইলে ফ্লাস্কের ভিতরকার জল পুনরায় ফুটিতে শুরু করিল। কেন এরূপ হয়? তখনকার স্ফুটন তাপমাত্রা কি জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের সমান থাকে?

12. গলনের লীনতাপ ও বাষ্পীভবনের লীনতাপের সংজ্ঞা দাও। [*M. Exam., 1980*]

13. বড় একখণ্ড বরফে গর্ত করিয়া গর্তে কিছু জল রাখা হইল। ঐ জল কি জমিয়া বরফ হইবে?

14. গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব দেখাইবার জন্য দুইটি সহজ পরীক্ষার বর্ণনা দাও। [*M. Exam., 1980*]

15. বরফ গলনের লীনতাপ 80 cal/gm.' বলিতে কি বুঝায়?
[*M. Exam., 1982, '84*]

16. 100°C তাপমাত্রার কিছু জলকে 100°C তাপমাত্রার স্টীমে পরিণত করা হইল। লীনতাপ জলে থাকে না—স্টীমে থাকে?

● **Objective type :**

17. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলির কারণ দর্শাও :

(a) প্রেসার কুকারে মাংস তাড়াতাড়ি সিদ্ধ হয়। [*M. Exam., 1983*]

(b) ধাতব কলসীর তুলনায় মাটির কলসীতে জল বেশী ঠাণ্ডা হয়।
[*M. Exam., 1983*]

(c) দুইখণ্ড বরফকে একসঙ্গে রাখিয়া চাপ দিলে জোড়া লাগিয়া যায়।
[*M. Exam., 1983*]

(d) পাহাড়ে রান্না করিতে বেশী সময় লাগে। [*M. Exam., 1986*]

(e) দারুণ শীতে ঠাণ্ডা জলের পাইপ অপেক্ষা গরম জলের পাইপ ফাটিবার সম্ভাবনা বেশী।

(f) হাওয়া দিলে ভিজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকায়।

18. 'হ্যাঁ' কিংবা 'না' তে √ চিহ্ন দাও :

(a) 0°C উষ্ণতার 1 gm জলে কি 0°C উষ্ণতার 1 gm বরফ অপেক্ষা বেশী তাপ থাকে? [উত্তর : হ্যাঁ/না]

(b) অবস্থা পরিবর্তনের সময় বস্তু যে তাপ শোষণ করে তাহা কি উষ্ণতার পার্থক্য সৃষ্টি করিয়া নিজেকে প্রকাশ করে? [উত্তর : হ্যাঁ/না]

(c) সমতলভূমি অপেক্ষা পাহাড়ে কি তরলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়? [উত্তর : হ্যাঁ/না]

(d) গ্যাসের তাপমাত্রা সংকট তাপমাত্রার উর্ধ্বে থাকিলে কি চাপ প্রয়োগে গ্যাসকে তরলীভূত করা যায়? [উত্তর : হ্যাঁ/না]

(e) বস্তুর গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক কি সর্বদা সমান? [উত্তর : হ্যাঁ/না]

19. উপযুক্ত শব্দ দ্বারা শূন্যস্থান পূরণ কর ঃ

(a) কোন গ্যাসীয় পদার্থের সংকট তাপমাত্রা শূন্য ডিগ্রী সেলসিয়াসের কম। ঘরের সাধারণ তাপমাত্রায় উহাকে — বলা যায়।

(b) 0°C উষ্ণতায় বরফকে 0°C উষ্ণতার জলে পরিণত করা হইল। — লীন তাপ ধারণ করে।

(c) উষ্ণ করিলে কঠিন পদার্থ তরলে পরিণত হয়। এই সকল ক্ষেত্রে সাধারণভাবে আয়তন — পায়।

(d) গলনের ফলে যে-সমস্ত পদার্থের আয়তন — পায় চাপ প্রয়োগে তাহাদের গলনাঙ্ক — পায়।

(e) তরলের চতুস্পার্শ্বস্থ চাপ — করিলে, উহা — তাপমাত্রায় ফুটিতে শুরু করে।

অঙ্ক ঃ

20. 100°C উষ্ণতায় 11·5 gm. স্টীম 11°C উষ্ণতায় 480 gm. জলের মধ্যে প্রবাহিত করা হইল। জলের উষ্ণতা বাড়িয়া 25°C হইল। পাত্রের ভর নির্ণয় কর। পাত্রের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ =0.1 ; বাষ্পীভবনের লীনতাপ=540 cal/gm.

[*M. Exam. 1980* [Ans. 251·8 gm.]

21. 100°C তাপমাত্রার স্টীমের স্রোত 0°C তাপমাত্রার একখণ্ড বরফের উপর দিয়া প্রবাহিত হইতে দিয়া কিছুক্ষণ পরে দেখা গেল যে সংগৃহীত জলের ওজন 225 gm ; বরফখণ্ড ওজন করিয়া দেখা গেল যে উহা 850 gm হইতে কমিয়া 650 gm হইয়াছে। স্টীমের লীনতাপ নির্ণয় কর। বরফ গলনের লীনতাপ=80 cal/gm [Ans. 540 cal/gm]

22. (a) 3 gm এবং (b) 2 gm স্টীম 100°C উষ্ণতায় 60 gm জলে (তাপমাত্রা 20°C) পাঠাইলে চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হইবে? স্টীমের লীনতাপ=540 cal/gm

[Ans. (a) 49·5°C (b) 40°C]

23. 10 gm জলসমযুক্ত একটি ক্যালরিমিটারে 200 gm জল আছে। উহাতে 100°C তাপমাত্রার স্টীম পাঠাইয়া দেখা গেল যে ক্যালরিমিটার ও উহার অভ্যন্তরস্থ তরলের ওজন 6 gm বৃদ্ধি পাইল। জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা 25°C হইলে, চূড়ান্ত তাপমাত্রা নির্ণয় কর। স্টীমের লীনতাপ=540 cal/gm [Ans. 42·07°C (প্রায়)]

24. 800°C তাপমাত্রায় উষ্ণ 300 gm ভরের একটি ধাতব বলককে একখণ্ড বরফের উপর রাখিলে 600 gm বরফ গলিয়া গেল। ধাতব পদার্থের আপেক্ষিক তাপ 0·2 হইলে, বরফ গলনের লীনতাপ নির্ণয় কর। [Ans. 80 cal/gm]

25. 0°C উষ্ণতার 8 gm বরফকে সম্পূর্ণ গলাইতে 100°C তাপমাত্রার কতখানি স্টীমের প্রয়োজন হইবে? বরফ যে-পাত্রে আছে তাহা কোন তাপ শোষণ করে নাই ধরিয়া লইতে পারো। স্টীমের লীনতাপ=540 cal/gm. এবং বরফ গলনের লীনতাপ=80 cal/gm.

[Ans. 1 gm]

বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ও হাইগ্রোমিতি
(Water-vapour in atmosphere and Hygrometry)

5-1. বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের অবস্থিতি ঃ

বায়ুমণ্ডলে সর্বদা কিছু পরিমাণ জলীয় বাষ্প বর্তমান থাকে। পুকুর, নদী, সমুদ্র প্রভৃতি হইতে সর্বদা জল বাষ্পে পরিণত হইয়া বায়ুমণ্ডলে মিশিয়া যায়। কোন কোন দিন ইহার পরিমাণ বেশী থাকে। আবার কোন কোন দিন কম থাকে। আমাদের নিত্য অভিজ্ঞতা হইতে আমরা ইহা বুঝিতে পারি। বর্ষাকালে সাধারণত বায়ু 'ভিজা' থাকে অর্থাৎ জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী থাকে এবং শীতকালে বায়ু 'শুষ্ক' হয় অর্থাৎ জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কমিয়া যায়।

পরীক্ষা ঃ একটি কাচের গ্লাসে খানিকটা জল লইয়া উহার ভিতর একখণ্ড বরফ রাখ। কিছুক্ষণ পরে দেখিতে পাইবে গ্লাসের গায়ে বিন্দু বিন্দু জলকণা জমিয়াছে। কেন এরূপ হইল? বরফ-জলের তাপমাত্রা 0°C বলিয়া গ্লাস খুব ঠাণ্ডা হইল। সঙ্গে সঙ্গে গ্লাসের গায়ে যে বায়ু লাগিয়া ছিল তাহাও খুব শীতল হইল। বায়ু শীতল হওয়াতে বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্প জমিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলবিন্দুর আকারে গ্লাসের গায়ে আটকাইয়া রহিল। এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে বায়ুতে জলীয়-বাষ্প থাকে।

বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের অবস্থিতির ফলে মেঘ, কুয়াশা, বৃষ্টি প্রভৃতি নানারূপ প্রাকৃতিক ঘটনা ঘটে। জলীয় বাষ্পের অবস্থিতির ফলে বায়ুমণ্ডলে যে অবস্থার উদ্ভব হয় তাহার পর্যালোচনা করাই 'হাইগ্রোমিতি'র উদ্দেশ্য।

হাইগ্রোমিতি পাঠের জন্য সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প সম্বন্ধে জ্ঞান থাকা প্রয়োজন। এইজন্য প্রথমে উক্ত বাষ্প সম্বন্ধে সংক্ষেপে প্রয়োজনীয় আলোচনা করা হইল।

5-2. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প (Saturated and unsaturated vapour) ঃ

কোন তরলকে একটি আবদ্ধস্থানে রাখিয়া বাষ্পায়নের সুযোগ দিলে দেখা যায় যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রার উপর নির্ভর করিয়া ঐ স্থান যে পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিতে সক্ষম ততটা বাষ্প উত্থিত হইবার পর আর বাষ্পায়ন হয় না। নিম্ন-লিখিত পরীক্ষা দ্বারা ঘটনাটি সুন্দররূপে দেখানো যাইতে পারে। ইহা হইতে সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্প সম্বন্ধে ধারণা স্পষ্টতর হইবে।

পরীক্ষা : A এবং B দুইটি ব্যারোমিটার নল। প্রথমে উহাদের পারদ-পূর্ণ করিয়া অপর একটি পারদপূর্ণ পাত্রে উপুড় করিয়া রাখা হইয়াছে। আমরা জানি যে, সাধারণ অবস্থায় দুইটি নলেই পারদস্তম্ভের উচ্চতা সমান হইবে; কারণ উভয় নলের পারদস্তম্ভই বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্দেশ করে। এখন একটি সরু বাঁকানো কাচনলের [ইহাকে 'pipette' ('পিপেট') বলে] ভিতরে জল লইয়া বাঁকানো মুখ B-নলের ভিতরে প্রবেশ করাও এবং পিপেটর অপর প্রান্তে মুখ লাগাইয়া আস্তে আস্তে ফুঁ দাও। পারদ অপেক্ষা হালকা বলিয়া ফুঁ দিবার ফলে জল পারদস্তম্ভ ভেদ করিয়া টরিসেলীর শূন্যস্থানে উপস্থিত হইবে। ঐ স্থানের চাপ খুব কম হওয়ার দরুন জল তৎক্ষণাৎ বাষ্পে পরিণত হইবে এবং B নলের পারদ স্তম্ভ একটু নীচে নামিতে দেখা যাইবে। ইহার কারণ এই যে জলীয় বাষ্প পারদস্তম্ভের উপর কিছু চাপ দেয়। পিপেটের সাহায্যে একটু একটু করিয়া জল প্রবেশ করাইতে থাকিলে দেখা যাইবে যে, B-নলের পারদস্তম্ভও একটু একটু করিয়া নীচে নামিতেছে। এইভাবে চলিবার পর যখন পারদশীর্ষে একটু জল জমিবে তখন দেখা যাইবে যে পারদস্তম্ভ আর নামিতেছে না [চিত্র 22]। অর্থাৎ, জল আর বাষ্পে পরিণত হইতেছে না। তখন বলা হয় যে, পারদশীর্ষের উপরিস্থ স্থান জলীয়-বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত (saturated) হইয়াছে। এই পরীক্ষা হইতে আমরা ইহাও বুঝিতে পারি যে যে-কোন গ্যাসের মত বাষ্প চাপ প্রয়োগে সক্ষম।

B-নলে জল জমিবার পর পারদস্তম্ভ আর নামিবে না

চিত্র নং 22

কাজেই কোন আবদ্ধ স্থানে তরলের সংস্পর্শে বাষ্প থাকিলে ঐ বাষ্প সর্বদা সংপৃক্ত হয়; কারণ তরলের উপস্থিতির মানেই এই যে ঐ আবদ্ধস্থান যে পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিতে সক্ষম সেই সীমা উপস্থিত হইয়াছে। এই অবস্থায় বাষ্প তরলের উপর যে চাপ প্রয়োগ করে নির্দিষ্ট তাপমাত্রার উপর নির্ভর করিয়া উহা সর্বোচ্চ (maximum)। A এবং B নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য হইতে এই সর্বোচ্চ চাপ নির্ণয় করা যায়। ইহাকে সংপৃক্ত বাষ্প চাপ (saturated vapour pressure) বলা হয়।

B-নলে পারদশীর্ষের উপর জল জমিবার পূর্বে যে-কোনও সময় টরিসেলীর শূন্যস্থানে যে-বাষ্প থাকিবে উহাকে অসংপৃক্ত বাষ্প (unsaturated vapour) বলা হইবে এবং উহা যে-চাপ প্রয়োগ করে তাহাকে অসংপৃক্ত বাষ্প-চাপ (unsaturated vapour pressure) বলে।

5-3. সংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of saturated vapour) ঃ

সংপৃক্ত বাষ্পের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য দেখা যায় ঃ

(1) একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন তরলের সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ বিভিন্ন।

(2) সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত বৃদ্ধি পায়।

(3) সংপৃক্ত-বাষ্প চাপ বয়েল বা চার্লস্ সূত্র—অর্থাৎ গ্যাসের সূত্র মানিয়া চলে না।

(4) যে-কোন তাপমাত্রায় কোন তরলের সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ অন্য কোন গ্যাস, বাষ্প বা বায়ুর উপস্থিতির দ্বারা প্রভাবিত হয় না যদি উহাদের ভিতর কোন রাসায়নিক ক্রিয়া না হয়।

অসংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of unsaturated vapour) ঃ

অসংপৃক্ত বাষ্পের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যায় ঃ

(1) অসংপৃক্ত বাষ্প সাধারণ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

(2) ইহা বয়েল বা চার্লস সূত্র—অর্থাৎ গ্যাসের সূত্র মানিয়া চলে।

5-4. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের পার্থক্য ঃ

(1) কোন আবদ্ধ স্থানে তরল-সংলগ্ন বাষ্পকে ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত বাষ্প বলে এবং উহা যে চাপ প্রয়োগ করে তাহা সর্বোচ্চ। এই চাপকে সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ বলে।

যদি কোন আবদ্ধ স্থানে কিছু বাষ্প থাকে কিন্তু কোন তরল পদার্থ না থাকে তবে ঐ বাষ্প অসংপৃক্ত হইতে পারে বা সদ্য সংপৃক্তও হইতে পারে। যদি আবদ্ধ স্থানের আয়তন সামান্য হ্রাস করিলে কিছু বাষ্প তরলে পরিণত হয় তবে বুঝিতে হইবে যে উহা সদ্য সংপৃক্ত—অন্যথায় অসংপৃক্ত।

(2) অসংপৃক্ত বাষ্পের তাপমাত্রা ঠিক রাখিয়া আয়তন পরিবর্তন করিলে বয়েল সূত্রানুযায়ী উহার চাপের পরিবর্তন হয়। কিন্তু সংপৃক্ত বাষ্পের বেলাতে উহা হয় না। আয়তন হ্রাস করিলে কিছু বাষ্প তরলীভূত হয় এবং আয়তন বৃদ্ধি করিলে কিছু তরল বাষ্পীভূত হয়, কিন্তু আবদ্ধ স্থান সর্বদা সংপৃক্ত থাকে—কাজেই চাপও অপরিবর্তিত থাকে।

(3) অসংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন ঠিক রাখিয়া তাপমাত্রা পরিবর্তন করিলে চার্লস সূত্রানুযায়ী উহার চাপের পরিবর্তন হয়। কিন্তু সংপৃক্ত বাষ্পের বেলাতে যদিও তাপমাত্রার পরিবর্তনে সংপৃক্ত বাষ্পচাপের পরিবর্তন হয় তথাপি উহা চার্লস সূত্রানুযায়ী হয় না।

(4) কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ অসংপৃক্ত বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি করিলে বা তাপমাত্রা হ্রাস করিলে উহাকে সংপৃক্ত বাষ্পে পরিণত করা যায়।

5-5. শিশিরাঙ্ক (Dew point) ঃ

যে-তাপমাত্রায় শিশির সৃষ্টি হয় তাহাকে শিশিরাঙ্ক বলে। বায়ুমণ্ডলে যে জলীয় বাষ্প থাকে তাহা জমিবার ফলেই শিশির সৃষ্টি হয়। রাত্রিবেলা বিকিরণ প্রভৃতি নানা কারণে ভূ-পৃষ্ঠ ঠাণ্ডা হইলে সঙ্গে সঙ্গে উহার সহিত যুক্ত বায়ুমণ্ডলও ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে এবং উহার আয়তন হ্রাস পায়। ফলে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ধারণ ক্ষমতা কমিয়া যায়। যখন তাপমাত্রা এমন অবস্থায় পৌঁছায় যে উক্ত জলীয় বাষ্প দ্বারা ঐ পরিমাণ বায়ুমণ্ডল সংপৃক্ত (saturated) হয় তখন তাপমাত্রা আর একটু কমিলেই কিছু জলীয় বাষ্প জমিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলবিন্দুর আকার ধারণ করে। ইহাকেই আমরা শিশির বলি। সুতরাং **যে-তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু উহাতে অবস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয় তাহাকে সেই অবস্থায় বায়ুর শিশিরাঙ্ক বলা হয়।**

বিকল্পে একথাও বলা যাইতে পারে যে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা যখন শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় তখন বায়ুমণ্ডলস্থ জলীয় বাষ্প দ্বারা বায়ুমণ্ডল সংপৃক্ত হয়।

'কোন স্থানের বায়ুর শিশিরাঙ্ক 12°C'—এইরূপ উক্তি দ্বারা বোঝা যায় যে ঐ স্থানে যে-বায়ু আছে তাহা 12°C তাপমাত্রায় উহাতে উপস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবে।

পরীক্ষা ঃ একটি কাচের গ্লাসে ঠাণ্ডা জল ঢাল ও উহার মধ্যে একটি থার্মোমিটার ঢুকাও। এইবার ছোট একখণ্ড বরফ টুক্‌রা ঐ জলে ফেলিয়া নাড়িতে থাক। টুক্‌রাটি গলিয়া গেলে আর এক টুক্‌রা ফেল। এইভাবে পরীক্ষা করিলে দেখিবে যে এক সময় গ্লাসের চতুর্দিকে ধোঁয়ার মত শিশির জমিয়াছে। যে মুহূর্তে শিশির জমিবে তখন থার্মোমিটারে তাপমাত্রা পড়। এইবার বরফ দেওয়া বন্ধ করিয়া জল নাড়িতে থাক। পারিপার্শ্বিক বস্তু হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া গ্লাস ধীরে ধীরে গরম হইবে। যে-মুহূর্তে শিশির অদৃশ্য হইবে তখনকার তাপমাত্রা পড়। এই দুই তাপমাত্রার গড় মোটামুটি ঐ সময়কার শিশিরাঙ্কের সমান।

5-6. আর্দ্রতা ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Humidity and Relative humidity) ঃ

বায়ুতে কি পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে বায়ুর আর্দ্রতা তাহাই বুঝায়।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা বায়ুর সংপৃক্ততার মাত্রা (degree of saturation) প্রকাশ করে। কোন তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে-পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে এবং ঐ তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যে-পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন এই দুই-এর অনুপাতকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।

সুতরাং,

আঃ আর্দ্রতা

$$= \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় ঐ বায়ুকে সম্পৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

যেহেতু জলীয় বাষ্পের ভর উহার চাপের সমানুপাতিক, সুতরাং আপেক্ষিক আর্দ্রতাকে নিম্নলিখিত উপায়েও বলা যাইতে পারে ঃ

$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

তাছাড়া আমরা জানি যে, কোন তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে জলীয় বাষ্প থাকে শিশিরাঙ্কে উক্ত বায়ু ঐ জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়। অর্থাৎ নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান। সুতরাং আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপরিউক্ত অনুপাতকে লেখা যাইতে পারে যে,

$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ু তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

আপেক্ষিক আর্দ্রতাকে সাধারণত বায়ুর সংপৃক্ততার শতকরা (percentage) হিসাবে প্রকাশ করা হয়। উপরিউক্ত তিনটি সংজ্ঞার যে-কোনটিকে 100 দ্বারা গুণ করিলে আপেক্ষিক আর্দ্রতার শতকরা হিসাব মিলিবে।

বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা 60%—ইহা দ্বারা বোঝা যায় যে (i) বায়ু তাপ-মাত্রায় বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ একই তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের 100 ভাগের 60 ভাগ অর্থাৎ $\frac{3}{5}$ অংশ (ii) বায়ু-তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট আয়তনের ঐ বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যে পরিমাণ জলীয়-বাষ্পের প্রয়োজন উহার শতকরা 60 ভাগ জলীয় বাষ্প বায়ুতে উপস্থিত আছে।

5-7. দৈনন্দিন জীবনে আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভাব ঃ

বায়ুমণ্ডল শুষ্ক কি আর্দ্র এই অনুভূতি এবং তজ্জনিত আরাম বা অস্বস্তি বোধ আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। এইজন্য আমাদের দৈনন্দিন জীবনে আপেক্ষিক আর্দ্রতার যথেষ্ট প্রভাব আছে। নিম্নে কয়েকটি উদাহরণ দ্বারা ইহা বুঝানো হইল।

(ক) দুইটি ঘরের তাপমাত্রা এক হইলেও আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভেদের জন্য দুই ঘরে আরামবোধ বিভিন্ন হয়। যে-ঘরের আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশী সেই ঘরে বেশী কষ্টবোধ হইবে। ইহার কারণ এই যে উক্ত ঘরের বায়ুতে বেশী পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকায় আমাদের দেহ হইতে ঘাম বাষ্পীভূত হইবার

সুযোগ পায় না। ঘাম দ্রুত বাষ্পীভূত হইলে দেহ শীতল হয় এবং আরাম বোধ হয়।

এই প্রসঙ্গে প্রশ্ন তোলা যায় যে, ঘরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহার আপেক্ষিক আর্দ্রতার কি পরিবর্তন হইবে? তাপমাত্রা বৃদ্ধি হওয়ার দরুন আপেক্ষিক আর্দ্রতা হ্রাস পাইবে। আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি, উহা নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর এবং ঐ তাপমাত্রায় ঐ বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভরের অনুপাতের সমান। এখন, বর্ধিত তাপমাত্রায় বায়ুকে সংপৃক্ত করিবার জন্য বেশী পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন। কাজেই উপরোক্ত অনুপাতের হর (denominator) বৃদ্ধি পাইতেছে কিন্তু লব (neumerator) ঠিকই থাকিতেছে। কাজেই, আপেক্ষিক আর্দ্রতা কমিয়া যাইবে।

(খ) ভিজা কাপড় বর্ষাকালের চাইতে শীতকালে দ্রুত শুকায় যদিও শীত-শীতকালে তাপমাত্রা অনেক কম থাকে। ইহার কারণ আপেক্ষিক আর্দ্রতা। শীতকালে আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকায় অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকায় ভিজা কাপড় হইতে জল দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইবার সুযোগ পায়। বর্ষাকালে তাহা হয় না, কারণ বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ খুব বাড়িয়া যায়।

(গ) শীতকালে গায়ের চামড়া প্রভৃতি ফাটিয়া যায়। ইহার কারণ শীতকালের নিম্ন আপেক্ষিক আর্দ্রতা। নিম্ন আপেক্ষিক আর্দ্রতার জন্য বায়ুমণ্ডল দেহের অনাবৃত অংশের অপেক্ষাকৃত নরম স্থান হইতে জলীয় বাষ্প শুষিয়া নেয়। তাই ঠোঁট ফাটে। গ্লিসারিন লাগাইলে ঠোঁট ফাটা বন্ধ হয়। কারণ গ্লিসারিন নিজে বায়ুমণ্ডল হইতে জলীয় বাষ্প শোষণ করে। বায়ুমণ্ডলকে শরীরের অংশ হইতে জল শোষণে বাধা দেয়।

(ঘ) পুরী এবং দিল্লীতে কোনদিন একই তাপমাত্রা থাকিলেও পুরী অপেক্ষা দিল্লী অনেক আরামপ্রদ মনে হইবে। সমুদ্রের কাছে বলিয়া পুরীর আবহাওয়ায় আপেক্ষিক আর্দ্রতার পরিমাণ অনেক বেশী। সুতরাং পুরীতে গায়ের ঘাম দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইতে পারে না এবং তাহার ফলে অস্বস্তি বোধ হয়।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা জানিবার প্রয়োজন ঃ প্রতিদিনের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নানা কারণে জানিবার প্রয়োজন হয়। দেখা গিয়াছে যে আপেক্ষিক আর্দ্রতা 50-60% হইলে আমরা বিশেষ অস্বস্তি অনুভব করি না। উহার বেশি হইলেই দেহে ঘাম হয় এবং আমরা অস্বস্তি অনুভব করি। আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি হইলে বৃষ্টির সম্ভাবনা থাকে। সেইজন্য আবহাওয়া অফিস আপেক্ষিক আর্দ্রতার হিসাব রাখে এবং বেতার ও সংবাদপত্রে উহা ঘোষণা করে। কার্পাস

প্রভৃতি কয়েকটি শিল্পে বায়ুর আর্দ্রতার জ্ঞান থাকা প্রয়োজন, কারণ দেখা গিয়াছে যে, আর্দ্র বায়ু ঐ সকল বস্ত্রশিল্পের সহায়তা করে। কতগুলি রোগের জীবাণু আর্দ্র আবহাওয়ায় বংশ বৃদ্ধি করে বলিয়া স্বাস্থ্য বিভাগ বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার হিসাব রাখে। নিরাপদে বিমান চালনার জন্য বিমান চালককে আর্দ্র বায়ুর অঞ্চল এড়াইয়া যাইতে হয়; এইজন্য বিমান চালনার জন্য আপেক্ষিক আর্দ্রতার জ্ঞান বিশেষ প্রয়োজন।

5-8. **বায়ুমণ্ডলস্থিত জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন** (Condensation of water vapour present in atmosphere) :

নানা কারণে এবং নানা অবস্থায় বায়ুমণ্ডলের জলীয়-বাষ্প ঘনীভূত হয় এবং তাহার ফলে শিশির, কুয়াশা, মেঘ প্রভৃতি সৃষ্টি হয়।

শিশির (Dews) **কুয়াশা** (Fog) বা **কুহেলিকা** (Mist) : রাত্রিবেলা ভূপৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করিয়া ঠাণ্ডা হয়। এই বিকীর্ণ তাপ বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া গেলেও বায়ুমণ্ডল ইহাতে উত্তপ্ত হয় না। কিন্তু ভূ-পৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ু ভূ-পৃষ্ঠের সহিত ক্রমশ ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। যখন বায়ু ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় তখন বায়ুর তাপমাত্রা আর একটু কমিলেই বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জল-কণার আকারে ঘাস, পাতা প্রভৃতির উপর জমা হয়। ইহাকেই শিশির বলা হয়। শরৎকালে ভোরবেলা গাছের পাতা ও ঘাসে যথেষ্ট শিশির জমা হইতে দেখা যায়। নিম্নলিখিত অবস্থাগুলি প্রচুর পরিমাণ শিশির জমিবার সহায়তা করে :

(i) **মেঘহীন পরিষ্কার আকাশ** : আকাশে মেঘ না থাকিলে বিকিরণের জন্য ভূপৃষ্ঠ দ্রুত ঠাণ্ডা হইতে পারে। বিকীর্ণ তাপ মেঘ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় ভূপৃষ্ঠে ফিরিয়া আসিবার সম্ভাবনা থাকে না। তাই মেঘহীন পরিষ্কার আকাশ শিশির জমিবার পক্ষে সহায়ক।

(ii) **কম বায়ু চলাচল** : বায়ু চলাচল কম থাকিলে, কোন ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পর্শে কিছু পরিমাণ বায়ু বেশীক্ষণ থাকিতে পারে। তাহাতে বায়ুমণ্ডল ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাঙ্কে পৌঁছিবার সুবিধা হয় এবং শিশির জমিবার সহায়তা করে।

(iii) **বায়ুমণ্ডলে প্রচুর জলীয়-বাষ্পের উপস্থিতি** : বায়ুমণ্ডলের প্রাথমিক আর্দ্রতা খুব বেশী থাকিলে, অল্প ঠাণ্ডা হইবার ফলে শিশির জমিতে পারে।

(iv) **তাপের ভাল বিকিরক কিন্তু কুপরিবাহী বস্তুর সান্নিধ্য** : ঐ ধরনের বস্তু দ্রুত তাপ পরিত্যাগ করিয়া ঠাণ্ডা হইতে পারে এবং বায়ুকে শিশিরাঙ্কে পৌঁছাইয়া দিতে পারে। ঐ বস্তুগুলি ভূ-পৃষ্ঠের নিকটবর্তী হওয়া প্রয়োজন, কারণ উঁচুতে থাকিলে বায়ু ঠাণ্ডা হইয়া ভারী হইবে এবং নীচে চলিয়া যাইবে এবং উপর হইতে অপেক্ষাকৃত গরম ও হাল্‌কা বায়ু ঐ স্থান অধিকার করিবে।

এইভাবে বায়ু চলাচলের সৃষ্টি হইয়া শিশির জমিবার বিঘ্ন ঘটাইবে। এই কারণে বড় গাছের পাতায় শিশির না জমিয়া ঘাসে বা কচুর পাতা ইত্যাদিতে শিশির জমিতে দেখা যায়।

যদি কোন কারণে বায়ুমণ্ডলের বিস্তীর্ণ অঞ্চলের তাপমাত্রা হ্রাস পাইয়া শিশিরাঙ্কের নীচে নামিয়া আসে তবে উক্ত বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার আকারে বায়ুমণ্ডলে ভাসমান ধূলিকণা, কয়লার গুঁড়া প্রভৃতি আশ্রয় করিয়া ভাসিতে থাকে। ইহাকেই **কুয়াশা** বা **কুহেলিকা** বলে। সাধারণত ভিজা মাটির তাপমাত্রা বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী হইলে এইরূপ কুয়াশার সৃষ্টি হয়। শীতকালে প্রায়ই সকালে কুয়াশা দেখিতে পাওয়া যায়। সাধারণত কুয়াশা স্থলের উপর এবং কুহেলিকা জলের উপর সৃষ্টি হয়। দুপুরের দিকে কুয়াশা শেষ হইয়া যায়, কারণ সূর্যের তাপে ভূ-পৃষ্ঠের তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে জলকণাগুলি বাষ্পীভূত হয় এবং বায়ুমণ্ডল অসংপৃক্ত হইয়া পড়ে।

মেঘ ও বৃষ্টি (Cloud and Rain) : জলীয় বাষ্পপূর্ণ বায়ু নানা কারণে হালকা হইয়া যখন উপরে ওঠে তখন সেখানে চাপহ্রাসের দরুন ইহার আয়তনের বিস্তার হয়। এই কারণে ইহা ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। এইভাবে ঠাণ্ডা হইবার ফলে যখন বায়ুর তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কের নীচে যায় তখন ইহার জলীয়-বাষ্প ভাসমান ধূলিকণাকে আশ্রয় করিয়া জলবিন্দুর আকারে ভাসিতে থাকে। উহাকে আমরা মেঘ বলি। সুতরাং কুয়াশা ও মেঘের ভিতর কার্যত কোন তফাত নাই। কুয়াশা নিম্নস্তরে সৃষ্টি হয় কিন্তু মেঘ সৃষ্টি হয় উচ্চস্তরে।

যখন মেঘের কণাগুলি ভাসিতে ভাসিতে পরস্পর সংযুক্ত হইয়া বড় বড় বিন্দুতে পরিণত হয়, তখন উহারা নীচের দিকে পড়িতে শুরু করে। এই সময় যদি জলবিন্দুগুলি কোন শুষ্ক বা উষ্ণবায়ুস্তরের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় তবে পুনরায় বাষ্পীভূত হইয়া উপরের দিকে চলিয়া যায়। আর যদি আর্দ্র বায়ুস্তরের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় তবে বাষ্পীভূত হয় না; বরং বিন্দুগুলি আকারে বৃদ্ধি পায় এবং যথেষ্ট ভারী হয়। তখন উহা বৃষ্টির আকারে ভূপৃষ্ঠে পড়ে।

মেঘের জলবিন্দুগুলি অনবরত এক ভাঙা-গড়ার প্রণালীর ভিতর দিয়া চলে। কখনও বা কতকগুলি বিন্দু মিলিয়া বড় বিন্দুর সৃষ্টি হয়, কখনও বা বড় বিন্দু ভাঙিয়া ছোট ছোট বিন্দুতে পরিণত হয়। একটি বিন্দু যখন ভাঙিয়া যায় তখন উহার তড়িতাধানের পৃথকীকরণ হয়। বজ্র-বিদ্যুৎপূর্ণ ঝড়বৃষ্টিতে বিদ্যুতের উপস্থিতির সম্ভবত ইহাই একটি প্রধান উৎস। তাই বজ্রবিদ্যুতের পরই প্রবল বারিপাত হইতে দেখা যায়।

তুষার ও শিলা (Snow and Hail) : খুব ঠাণ্ডার ফলে বায়ুর জলীয় বাষ্প বরফে পরিণত হয় এবং বায়ুমণ্ডলে ভাসিতে থাকে এবং বৃষ্টির আকারে ঝির

ঝির করিয়া ভূপৃষ্ঠে পড়ে। ইহাকে তুষারপাত বলে। মেরুপ্রান্তে প্রায়ই এবং শীতকালে পাহাড়ী জায়গায় তুষারপাত হইয়া থাকে।

যদি বৃষ্টির ফোঁটা পড়িবার সময় উহা কোথাও খুব ঠাণ্ডা বায়ুর সংস্পর্শে আসে তবে ফোঁটাগুলি জমিয়া বরফের টুকরায় পরিণত হয় এবং টুকরাগুলি বৃষ্টির আকারে পড়িতে থাকে। ইহাকেই শিলাবৃষ্টি বলে। শিলা ছোট বড় নানা আকারের দেখিতে পাওয়া যায়।

প্রশ্নাবলী

1. শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা বুঝাইয়া দাও।
[*M. Exam.*, *1980, '84*]

2. শিশিরাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। ইহা নির্ণয়ের পর ইহা কি কাজে লাগে? বায়ুর তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কের সমান হইলে বায়ুমণ্ডলের অবস্থা কিরূপ হয়? কোন ঘরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহা— (i) শিশিরাঙ্ক এবং (ii) আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর কি প্রভাব বিস্তার করিবে?
[*H. S. Exam.*, *1960*]

3. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প বলিতে কি বোঝ? বাষ্প গ্যাসের ন্যায় চাপ দিতে পারে— ইহা একটি সহজ পরীক্ষার দ্বারা প্রদর্শন কর। [*M. Exam.*, *1985*]

4. সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্পের মধ্যে পার্থক্য কি? [*H. S. Exam.*, *1980*]

5. সংজ্ঞা লিখ : (i) শিশিরাঙ্ক (ii) আপেক্ষিক আর্দ্রতা (iii) সংপৃক্ত বাষ্প।
[*M. Exam.*, *1982, '87*]

6. বাতাসে যে জলীয় বাষ্প থাকে তাহা পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে দেখাইবে?
[*M. Exam.*, *1984*]

7. শিশিরাঙ্ক কি 0°C-এর নীচে চলিয়া যাওয়া সম্ভব?

8. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির জবাব লিখ :—

(ক) বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে ভিজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকায় যদিও শীতকালে তাপমাত্রা কম। কেন? (খ) একটি কাচের পাত্রে বরফ শীতল জল ঢালিলে পাত্রের বাহিরের গায়ে জলবিন্দু জমা হয় কেন? (গ) দুইটি ঘরের তাপমাত্রা 24°C. একটির আপেক্ষিক আর্দ্রতা 30% এবং অন্যটিতে 60%। কোন্ ঘর বেশী আরামদায়ক হইবে? (ঘ) পুরী ও দিল্লীতে কোন দিনের তাপমাত্রা সমান থাকিলেও পুরী অপেক্ষা দিল্লী বেশী আরামপ্রদ মনে হয় কেন?
[*M. Exam.*, *1981*]

9. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লিখ :

(ক) কি অবস্থায় ঘরের তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কের সমান হয়? (খ) কখন শিশিরাঙ্ক দেখা যায় না? (গ) উষ্ণ কিন্তু ভিজা বায়ু উষ্ণতর কিন্তু শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা কষ্টদায়ক কেন?

(ঘ) কখনও বা কাচের জানালার ভিতরের দিকে কখনও বা বাহিরের দিকে জলকণা জমিতে দেখা যায়। কি ধরনের অবস্থা হইলে এই জলকণা জমিতে পারে? কুয়াশার সৃষ্টি কিভাবে হয়? [*M. Exam., 1988*]

10. শিশির কি? উহার উৎপত্তি হয় কিরূপে? কোন কোন বস্তুর উপর শিশির বেশী জমে কেন?

11. কি কি কারণে শিশির জমিবার সুবিধা হয়?

Objective type :

12. প্রত্যেকটি উক্তির পাশে যে তিনটি বিকল্প দেওয়া আছে তাহার একটি নির্বাচন করিয়া উক্তিগুলি সম্পূর্ণ কর ঃ

(a) সংপৃক্ত বাষ্প মানিয়া চলে—(i) বয়েল সূত্র, (ii) চার্লস সূত্র, (iii) কোনটিই নয়।

(b) অসংপৃক্ত বাষ্প মানিয়া চলে—(i) বয়েল সূত্র, (ii) চার্লস সূত্র, (iii) কোন সূত্রই নয়।

(c) শিশিরাঙ্কে বায়ু— (i) সংপৃক্ত হয়, (ii) অসংপৃক্ত হয়, (iii) কোনটই হয় না।

(d) কাপড়ের কলগুলির প্রয়োজন— (i) শুষ্ক আবহাওয়া, (ii) সিক্ত আবহাওয়া, (iii) কোনোটিই নয়।

(e) বস্তুর উপর প্রচুর শিশির পড়িবে যদি বস্তুটি— (i) উত্তম পরিবাহী হয়, (ii) উত্তম বিকিরক হয়, (iii) উত্তম অন্তরক হয়।

(f) আমাদের আরাম বা অস্বস্তিবোধ নির্ভর করে— (i) বায়ুমণ্ডলের প্রকৃত আর্দ্রতার উপর, (ii) বায়ুমণ্ডলের আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর, (iii) উভয়ের উপর।

তাপ সঞ্চালন
(Transmission of heat)

6-1. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি (Different ways of transmission of heat) :

একস্থান হইতে অন্যস্থানে তাপ সঞ্চালনের তিনটি পদ্ধতি আছে। যথা : (1) **পরিবহন** (Conduction), (2) **পরিচলন** (Convection) ও (3) **বিকিরণ** (Radiation)।

পরিবহন : একটি লোহার দণ্ডের একপ্রান্ত আগুনে ধরিলে কিছু সময় পরে অন্য প্রান্ত গরম হইয়া পড়ে। এস্থলে দণ্ডের ভিতর দিয়া একপ্রান্ত হইতে অন্য-প্রান্তে তাপ সঞ্চালিত হইল কিন্তু দণ্ডের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাগুলি তাপ বহন করিয়া একপ্রান্ত হইতে অন্যপ্রান্তে গেল না। তাহা যদি হইত তবে যে-প্রান্ত আগুনে ধরা আছে উহা সরু হইয়া যাইত এবং অপর প্রান্ত মোটা হইত। কিন্তু তাহা হয় না। তবে তাপ সঞ্চালন কিরূপে হইল? পদ্ধতিটি বর্ণনা করিবার পূর্বে আর একটি ঘটনা বলি।

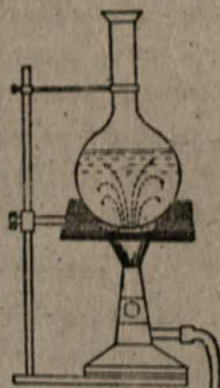
কোন বাড়ী তৈয়ারী করিবার সময় মজুরেরা ইটের গাদা হইতে ইট কিরূপে জমিতে লইয়া আসে লক্ষ্য করিয়াছ কি? মজুরেরা লাইন দিয়া দাঁড়াইয়া যায়। প্রথম মজুর গাদা হইতে একখানা ইট লইয়া পরের জনকে দেয়। সে আবার ইটখানি পরের মজুরকে হস্তান্তরিত করে। এইভাবে একজন হইতে অপরজনে চালিত হইয়া ইট জমিতে পৌঁছাইয়া যায়। কিন্তু কোন মজুরই নিজের স্থান ত্যাগ করে না। পরিবহন প্রণালীও এইরকম।

দণ্ডের যে-প্রান্ত আগুনে ধরা হইল সেই প্রান্তের কণাগুলি তাপ গ্রহণ করিয়া উত্তপ্ত হইল। পরে উহা পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা কণাকে সেই তাপ হস্তান্তর করিল। এই কণা আবার উত্তপ্ত হইয়া উহার পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা কণাকে তাপ হস্তান্তর করিল। এইরূপে কণা হইতে কণাতে হস্তান্তরিত করিয়া অবশেষে তাপ অন্যপ্রান্তে পৌঁছিল কিন্তু কণাগুলির কোন স্থান পরিবর্তন হইল না। এই ধরনের তাপ সঞ্চালনের পদ্ধতিকে পরিবহন বলা হয়।

'অতএব যে প্রণালীতে কোন দ্রব্যের উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে তাপ গমন করে অথচ ইহার জন্য দ্রব্যের কণাগুলির কোন স্থান পরিবর্তন হয় না,

তাহাকে পরিবহন বলা হয়। সাধারণত কঠিন পদার্থে তাপ সঞ্চালন পরিবহন প্রণালীতে হইয়া থাকে।

পরিচলন ঃ **এই প্রণালীতে দ্রব্যের উত্তপ্ত কণাগুলি নিজেরাই উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে গমন করিয়া তাপ লইয়া যায়।** সাধারণত তরল ও বায়বীয় পদার্থে তাপ সঞ্চালন পরিচলন প্রণালীতে হইয়া থাকে।

পরীক্ষা ঃ একটি কাচের ফ্লাস্কে খানিকটা জল লইয়া উহার ভিতরে একটু নীল ফেলিয়া দাও। এখন ফ্লাস্কটি গরম কর। দেখিবে যে, তলার নীল জল উত্তপ্ত হইয়া হালকা হইবে ও উপরের দিকে উঠিবে এবং উপরের ঠাণ্ডা ও ভারী সাদা জল ফ্লাস্কের গা বাহিয়া নীচের দিকে আসিবে (23 নং চিত্র)। এইভাবে দুইটি জলস্রোতের সৃষ্টি হইবে। কিছুক্ষণ পরে সমস্ত জল সমভাবে উত্তপ্ত হইয়া পড়িবে। এস্থলে উত্তপ্ত জলের কণাগুলি নীচ হইতে উপরে উঠিয়া তাপ সঞ্চালন করিল। এই পদ্ধতিকে তাপের পরিচলন বলে।

তাপ পরিচলন পদ্ধতি

চিত্র নং 23

বিকিরণ ঃ **এই প্রণালীতে কোন জড় মাধ্যমের** (material medium) **সাহায্য না লইয়া অথবা জড় মাধ্যম থাকিলে তাহাকে উত্তপ্ত না করিয়া তাপ একস্থান হইতে অন্যস্থানে সঞ্চালিত হয়।**

আমরা সূর্য হইতে তাপ পাই। কিন্তু সূর্য ও পৃথিবীর ভিতর বেশীর ভাগ স্থান শূন্য। কাজেই সূর্যতাপ পৃথিবীতে পরিবহন বা পরিচলন পদ্ধতিতে আসিতে পারে না কারণ উভয় ক্ষেত্রেই জড় মাধ্যমের প্রয়োজন। উপরন্তু সূর্যতাপ পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া আসিলেও বায়ুমণ্ডল ঠাণ্ডাই থাকে। সুতরাং পৃথিবীতে সূর্যতাপ পৌঁছিবার পদ্ধতি পরিবহন বা পরিচলন হইতে ভিন্ন। ইহা একটি সম্পূর্ণ আলাদা পদ্ধতি। এই পদ্ধতিকে বিকিরণ বলা হয়।

একটি জ্বলন্ত উনুনের পাশে দাঁড়াইলে আমরা গরম অনুভব করি। ইহা পরিচলন দ্বারা হইতে পারে না, কারণ পরিচলনের ফলে উত্তপ্ত হাওয়া উপরে উঠিবে এবং পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা হাওয়া উনুনের দিকে যাইবে। সুতরাং আমাদের ঠাণ্ডা লাগাই উচিত। আবার পরিবহন দ্বারাও হইতে পারে না। কারণ বায়ুর পরিবহন ক্ষমতা খুব কম। অথচ আমরা গরম অনুভব করি। যেহেতু এই তাপ সঞ্চালন পরিবহন বা পরিচলন দ্বারা হইতেছে না, সুতরাং বিকিরণ দ্বারাই হইতেছে।

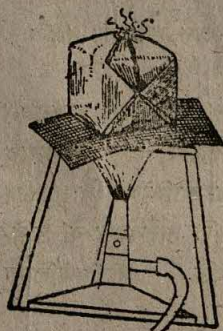
তিন পদ্ধতির প্রভেদ ঃ (1) পরিবহন ও পরিচলনের জন্য কোন জড় মাধ্যমের (কঠিন, তরল বা বায়বীয়) প্রয়োজন কিন্তু বিকিরণ ঐরূপ কোন মাধ্যমের সাহায্য না লইয়াও হইতে পারে।

(2) পরিবহন বা পরিচলন খুব মন্থর পদ্ধতি কিন্তু বিকিরণ অতিশয় দ্রুত পদ্ধতি। বিকিরণের দরুন যে বেগে তাপ সঞ্চালিত হয় তাহা আলোর বেগের সমান।

(3) বিকিরণ প্রণালীতে তাপ সরলরেখায় সর্বদিকে চলাচল করে কিন্তু পরিবহন বা পরিচলন প্রণালীতে তাপ বক্রপথে চলাচল করিতে পারে। সূর্যের তাপ নিবারণ করিতে আমরা ছাতা খুলি। ইহা প্রমাণ করে যে, সূর্য হইতে বিকীর্ণ তাপ সরলরেখায় চলে।

(4) বিকিরণ প্রণালীতে তাপ মাধ্যমকে উত্তপ্ত করে না কিন্তু পরিবহন বা পরিচলন প্রণালীতে তাপ যে-মাধ্যম অবলম্বন করিয়া চলাচল করে তাহাকে উত্তপ্ত করে।

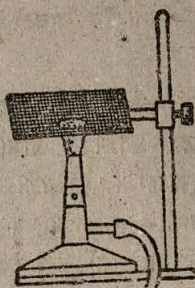
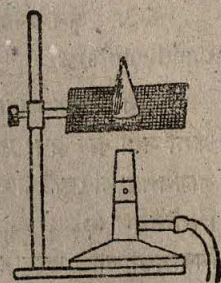
6-2. সুপরিবাহী ও কুপরিবাহীর দৃষ্টান্ত ঃ

যে পদার্থ খুব সহজে তাপ পরিবহন করিতে পারে তাহাদের **সুপরিবাহী** (good conductor) বলে এবং যে-সমস্ত পদার্থ পারে না তাহাদের **কুপরিবাহী** (bad conductor) বলে। প্রায় সব ধাতুই তাপের সুপরিবাহী কিন্তু কাঠ, কাচ, কাপড়, রবার প্রভৃতি কুপরিবাহী।

কাগজের পাত্র পরীক্ষা

চিত্র নং 24

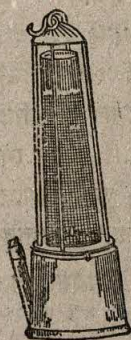
(1) **কাগজের পাত্র পরীক্ষা ঃ** একটি পাতলা কাগজের পাত্র তৈরী করিয়া তাহাকে আংশিক জলপূর্ণ কর। ঐ জলকে তাপ প্রদান করিয়া কেট্‌লির জলের মত ফুটানো যাইবে কিন্তু কাগজ পুড়িবে না (24 নং চিত্র)। ইহার কারণ এই যে, পাতলা কাগজের মধ্য দিয়া তাপ শীঘ্র জলে চলিয়া যায়। কাজেই জল ক্রমশ উত্তপ্ত হইয়া ফুটিবে কিন্তু কাগজ যথেষ্ট গরম হইবে না এবং পুড়িবে না। কিন্তু পাত্রটি যদি মোটা কাগজের হয় তবে পুড়িয়া যাইবে, কারণ মোটা কাগজের ভিতর দিয়া তাপ শীঘ্র যাইতে পারে না। অর্থাৎ মোটা কাগজ তাপের কুপরিবাহী।

(2) **অগ্নিশিখা ও তারের জালি পরীক্ষা ঃ** একটি জ্বলন্ত বুনসেন বার্নারের (অভাবে মোমবাতি) শিখার উপর একটি তামার তারের জালি চাপিয়া ধরিলে

দেখা যাইবে যে শিখা জালি ভেদ করিয়া উপরে উঠিতে পারে না, জালির নীচে জ্বলিতে থাকে [25 (i) নং চিত্র]। ইহার কারণ এই যে, তামা তাপের সুপরিবাহী। শিখা জালির সংস্পর্শে আসিবামাত্র জালি চতুর্দিকে তাপ ছড়াইয়া দেয়। ফলে জালির উপরের গ্যাস উত্তপ্ত হইতে পারে না এবং জ্বলন-বিন্দুতে (ignition point) পৌঁছায় না।

অগ্নিশিখা ও তারজালি পরীক্ষা
চিত্র নং 25

এইবার বার্নার নিভাইয়া বার্নারের কিছু উপরে জালিটি রাখ এবং গ্যাস খুলিয়া দাও। জালি ভেদ করিয়া গ্যাস উপরে উঠিবে। উপরের অংশে আগুন দিয়া গ্যাস জ্বালাইলে দেখা যাইবে যে, শিখা শুধু জালির উপরেই রহিল; নীচে গেল না [25 (ii) নং চিত্র]। ইহার কারণও এই যে তামার জালি তাপ চতুর্দিকে ছড়াইয়া দেওয়াতে জালির তলার গ্যাস জ্বলনবিন্দুতে পৌঁছায় না।

(3) **ডেভির নিরাপত্তা বাতি** (Davy's safety lamp) ঃ পূর্ববর্ণিত তামার জালির সুপরিবাহিতাকে প্রয়োগ করিয়া সার হামফ্রে ডেভী এক নিরাপত্তা বাতির উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। বিস্ফোরক গ্যাসপূর্ণ খনিতে এই আলো ব্যবহার করা যাইতে পারে।

ডেভির নিরাপত্তা বাতি—চিত্র নং 26

26 নং চিত্রে এই বাতি দেখানো হইল। এই বাতির অগ্নিশিখাকে একটি ঠাস্-বুনন তামার জালি দিয়া ঘিরিয়া রাখা হয়; বিস্ফোরক গ্যাসপূর্ণ স্থানে এই বাতি জ্বালাইলে বাহির হইতে গ্যাস জালি ভেদ করিয়া বাতির ভিতর অল্প অল্প ঢুকিবে এবং ভিতরে অগ্নিসংস্পর্শে জ্বলিবে; কিন্তু তামার জালি সুপরিবাহী বলিয়া তাপ চতুর্দিকে ছড়াইয়া দিবে এবং বাহিরের গ্যাসকে শীঘ্র জ্বলনবিন্দুতে পৌঁছাইতে দিবে না। কাজেই কোন বিস্ফোরণ হইবে না। বিস্ফোরক গ্যাস বাতির ভিতর ঢুকিলে শিখার রং বদলাইয়া যায় এবং তাহা দ্বারা ঐ গ্যাস সম্বন্ধে খনির লোক সচেতন হয়। এই বাতিতে এমন পরিমাণ তেল লওয়া হয় যে, বাহিরের গ্যাস অল্প অল্প উত্তপ্ত হইয়া যতক্ষণে জ্বলন-বিন্দুতে পৌঁছায় ততক্ষণে তেল নিঃশেষ হইয়া যায় এবং বাতি নিভিয়া যায়।

6-3. সুপরিবাহী ও কুপরিবাহীর ব্যবহার (Use of good and bad conductors) ঃ

পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে, সকল ধাতুই তাপের সুপরিবাহী। ইহার মধ্যে রূপা সর্বাধিক এবং তাহার পরেই তামা। তামার সুপরিবাহিতার জন্য রাঁধিবার বাসনপত্র বা ছোটখাটো বয়লার তামার তৈয়ারী হয়। এঞ্জিনের সিলিণ্ডার এবং পিস্টনমুখ (piston head) নির্মাণে অ্যালুমিনিয়াম ব্যবহার করা হয়। ডেভির নিরাপত্তা বাতি তামার জালি দিয়া তৈরী করা হয়।

উল, তুলা, অ্যাসবেসটস্ প্রভৃতি তাপের কুপরিবাহী। তাই, তাপনিবারক (heat insulators) হিসাবে ইহাদের ব্যবহার আছে। রেফ্রিজারেটার এবং কুকারের দেওয়ালে লাইনিং হিসাবে অ্যাসবেসটস্ ব্যবহৃত হয়। অ্যাসবেসটস্ তন্তু এবং প্লাস্টিকের সহযোগে অ্যাসবেসটস্ সিমেন্ট বয়লার এবং স্টীম পাইপের আবরণ হিসেবে ব্যবহৃত হয়। উল, তুলা প্রভৃতি দ্বারা গরম পোশাক, লেপ প্রভৃতি তৈয়ারী হয় যাহা আমরা শীতকালে ব্যবহার করি।

6-4. তাপ পরিবহনের কতকগুলি ব্যবহারিক দৃষ্টান্ত (Some practical illustrations of conduction of heat) ঃ

(1) শীতকালে আমরা যে-গরম পোশাক ব্যবহার করি তাহা আসলে গরম নহে। যে-কোন তথাকথিত 'গরম' পোশাক ও অন্য পোশাক থার্মোমিটার দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, উহাদের তাপমাত্রা সমান। তবে শীতকালে গরম পোশাক পরিলে শীত লাগে না; তাই উহাদের গরম বলা হয়। ঐ পোশাক পশমের তৈরী বলিয়া উহার ভিতর অসংখ্য ছিদ্র থাকে এবং ঐ ছিদ্রগুলি বায়ুপূর্ণ থাকে। বায়ু তাপের কুপরিবাহী। সুতরাং পশমের পোশাক পরিলে উক্ত বায়ুস্তর আমাদের দৈহিক তাপকে বাহিরে যাইতে দেয় না। ফলে দেহ গরম থাকে। কিন্তু সূতীবস্ত্রের আঁশগুলি আল্‌গাভাবে থাকে না; তাই ইহাদের ভিতর বায়ুস্তরও থাকিতে পারে না। এই কারণে সূতীবস্ত্র কম তাপ-নিবারক।

(2) কাচের বোতলের ছিপি বোতলের মুখে শক্তভাবে আট্‌কাইয়া গেলে বোতলের মুখ একটু গরম করিলে ছিপি আল্‌গা হয়।

ইহার কারণ এই যে, কাচ তাপের কুপরিবাহী। তাপ পাইয়া বোতলের মুখ প্রসারিত হয় কিন্তু কাচ সেই তাপ ছিপিতে পরিবহন করিতে বেশ কিছু সময় নেয়। ফলে ছিপি প্রসারিত হয় না এবং ছিপি আল্‌গা হইয়া যায়।

(3) কোন ঠাণ্ডা ঘরের ধাতব বস্তুতে হাত দিলে বেশ শীতল মনে হয়, কিন্তু কাঠের জিনিস তত শীতল মনে হয় না, যদিও থার্মোমিটারের সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে যে উভয় বস্তুরই তাপমাত্রা এক। ইহার কারণ এই যে,

ধাতব বস্তু তাপের সুপরিবাহী বলিয়া হাত হইতে শীঘ্র তাপ টানিয়া লয়। ফলে, ধাতব বস্তু স্পর্শ করিলে ঠাণ্ডার অনুভূতি হয়। কিন্তু কাঠ তাপের সুপরিবাহী নয় বলিয়া ঐরূপ ঠাণ্ডার অনুভূতি হয় না।

ঠিক একই কারণে একখণ্ড লোহা ও একখণ্ড কাঠ বাহিরের রৌদ্রে কিছুক্ষণ ফেলিয়া রাখার পর স্পর্শ করিলে লোহা বেশী গরম বলিয়া মনে হইবে, যদিও উভয়ের তাপমাত্রা এক।

(4) কেট্‌লির হাতলে বেত জড়ানো থাকে এবং ফুটন্ত জলপূর্ণ কেট্‌লি ঐ হাতলদ্বারা ধরিলে বেশী গরম লাগে না। ইহার কারণ, বেত তাপের কুপরিবাহী।

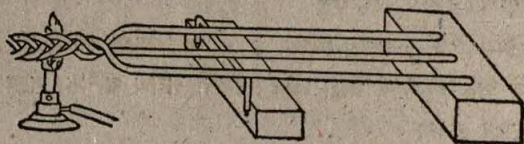
(5) বরফের টুক্‌রাকে সাধারণত কাঠের গুঁড়া দিয়া ঢাকিয়া রাখা হয়। ঐ অবস্থায় বরফ না গলিয়া অনেকক্ষণ থাকে। ইহার কারণ কাঠের গুঁড়া তাপের কুপরিবাহী। বাহির হইতে তাপ গুঁড়া ভেদ করিয়া বরফে পৌঁছায় না, সুতরাং বরফ গলে না।

(6) গ্রামাঞ্চলে খড়ের ছাদযুক্ত বাসগৃহ দেখা যায়। খড় তাপের কুপরিবাহী ; তাছাড়া খড়ের ছাউনির ভিতর অসংখ্য বায়ুপূর্ণ ছিদ্র থাকে। বায়ুও তাপের কুপরিবাহী। তাই গ্রীষ্মকালে ঘরের ছাদ ভেদ করিয়া তাপ গৃহে প্রবেশ করিতে পারে না বলিয়া গৃহের অভ্যন্তর ঠাণ্ডা থাকে। আবার শীতকালে ভিতরের তাপ বাহিরে যাইতে পারে না ; তাই শীতকালে ঐ বাসগৃহ গরম থাকে। টিনের ছাদযুক্ত গৃহে তাহা হয় না। টিন তাপের সুপরিবাহী হওয়াতে ঐ গৃহ গরমকালে অত্যধিক গরম ও শীতকালে ঠাণ্ডা হইবে।

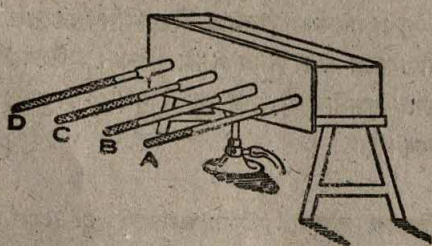
6-5. বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতার তুলনা (Comparison of conductivities of different substances) :

তাপ পরিবহনের গুণকে পদার্থের পরিবাহিতা বলে। সব পদার্থের পরিবাহিতা সমান নয়। একটি কাঠের দণ্ডের একপ্রান্ত আগুনে রাখিয়া অন্যপ্রান্ত অনেকক্ষণ পর্যন্ত হাতে ধরিয়া রাখা যায়, কিন্তু লোহার দণ্ডের বেলাতে অল্পক্ষণ পরেই অন্যপ্রান্ত এত উত্তপ্ত হইয়া উঠিবে যে ধরিয়া রাখা সম্ভব হইবে না। সুতরাং লোহা যত সহজে তাপ পরিবহন করিতে পারে কাঠ তাহা পারে না। সেইজন্য বলা হয় লোহার পরিবাহিতা কাঠ অপেক্ষা বেশী। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতা তুলনা করা যাইতে পারে।

পরীক্ষা : (1) 50 cm. লম্বা ও প্রায় 3 mm. ব্যাসযুক্ত তামা, লোহা ও সীসার তিনটি তার লও। তার তিনটির একপ্রান্ত মোচড়াইয়া জুড়িয়া দাও এবং

সেই প্রান্ত বার্নার দ্বারা উত্তপ্ত কর [চিত্র নং 27]। তিন-চার মিনিট পরে একটি দেশলাইয়ের কাঠি প্রত্যেক তারের গা বাহিয়া শীতলপ্রান্ত হইতে উত্তপ্ত প্রান্তের দিকে লইয়া যাও। দেখিবে, বিভিন্ন জায়গাতে গিয়া দেশলাইয়ের কাঠি জ্বলিয়া

বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতা বিভিন্ন
চিত্র নং 27

উঠিবে। তামার তারে সর্বাপেক্ষা কম দূরে যাইতে হইবে, তারপর লোহার তার এবং সীসার তারে সর্বাপেক্ষা বেশী দূরে যাইতে হইবে। ইহা প্রমাণ করে যে, তামা সব চাইতে সহজে তাপ পরিবহন করে—তারপর লোহা এবং সবশেষে সীসা।

(2) **ইনগেনহজের পরীক্ষা** (Ingenhausz's experiment) ঃ 28 নং চিত্রে এই পরীক্ষার ব্যবস্থাদি দেখানো হইয়াছে। A, B, C এবং D কতকগুলি বিভিন্ন ধাতব দণ্ড। ইহাদের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ সমান এবং ইহাদের উপর সমানভাবে মোমের প্রলেপ লাগানো আছে। দণ্ডগুলি একটি ধাতব পাত্রের ভিতর এমনভাবে ঢুকানো যে পাত্রের ভিতর প্রত্যেক দণ্ডের দৈর্ঘ্য সমান। ধাতব পাত্রে জল রাখিয়া ফুটাইলে প্রত্যেক দণ্ডের একপ্রান্ত ফুটন্ত জলের তাপমাত্রা পাইবে। অন্যপ্রান্ত শীতল বলিয়া দণ্ড বরাবর তাপ পরিবাহিত হইবে এবং দণ্ডের গায়ে লাগানো মোমের প্রলেপ গলিতে শুরু করিবে। যখন প্রত্যেক দণ্ডের উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসিবে, তখন মোম গলা বন্ধ হইবে। দেখা যাইবে, বিভিন্ন দণ্ডে মোম বিভিন্ন দৈর্ঘ্য পর্যন্ত গলিয়াছে। যে-দণ্ডে মোম বেশী দূর গলিবে, সেই দণ্ডের পরিবাহিতা বেশী।

ইনগেনহজের পরীক্ষা চিত্র নং 28

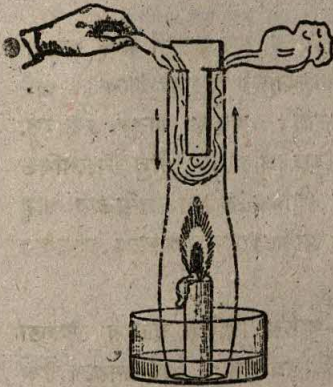
6-6. তাপ পরিচলনের কয়েকটি পরীক্ষা ঃ

(1) 29 নং চিত্রে প্রদর্শিত পাত্রের মত একটি চতুষ্কোণ কাচের পাত্র লইয়া জলপূর্ণ কর। পাত্রের মুখে এক টুক্‌রা নীল ছাড়িয়া দিয়া যে-কোন লম্বা বাহুতে

(ধর AB) তলা হইতে তাপ প্রয়োগ কর। দেখিবে AB বাহু দিয়া পরিষ্কার জল উপরে উঠিবে এবং CD বাহু দিয়া নীল জল নীচে নামিবে। এইভাবে একটি জলস্রোতের সৃষ্টি হইবে। কিছুক্ষণ পরে সমস্ত জল একই তাপমাত্রায় আসিবে। উত্তপ্ত জলের স্রোত দ্বারা তাপের এই সঞ্চালনকে **পরিচলন** বলে এবং এই স্রোতকে **পরিচলন স্রোত** (convection current) বলে।

জলে পরিচলন স্রোত
চিত্র নং 29

(2) বায়ুতেও জলের মত পরিচলন স্রোত সৃষ্টি হয়। নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা বায়ুতে পরিচলন স্রোত দেখানো যাইবে।

একটি পাত্রে কিছু জল ঢালিয়া উহার মধ্যে একটি মোমবাতি বসাও। বাতিকে একটি কাচের চিমনি দিয়া এমনভাবে ঢাকিয়া দাও যেন চিমনির তলদেশ জলে ডুবিয়া যায় (30নং চিত্র)। দেখিবে শিখা আস্তে আস্তে ক্ষীণ হইয়া নিভিয়া যাইবে। কারণ চিমনির ভিতরের হাওয়ার অক্সিজেন পুড়িয়া গেলে নতুন হাওয়া তলা দিয়া জলভেদ করিয়া আসিতে পারে না। চলাচলের পথ বন্ধ হইয়া যাওয়াতে বায়ুতে পরিচলন স্রোতের সৃষ্টি হয় না। ফলে কিছুক্ষণ পরে শিখা নিভিয়া যায়।

বায়ুতে পরিচলন স্রোত চিত্র নং 30

এইবার বাতিকে পুনরায় জ্বালিয়া একখানা মোটা কাগজকে T অক্ষরের মত কাটিয়া ছবিতে যেমন দেখানো হইয়াছে তেমনি চিমনির মুখে রাখ। ইহা চিমনিকে দুইটি প্রকোষ্ঠে ভাগ করিবে। তখন বাতি জ্বলিতে থাকিবে। একখণ্ড ব্লটিং কাগজ তার্পিন তেলে ভিজাইয়া শুষ্ক কর এবং ইহাতে অগ্নিসংযোগ কর। কাগজ প্রচুর ধূম সৃষ্টি করিবে। এই ধূমায়মান কাগজকে চিমনির মুখে ধরিলে দেখিবে যে, ধূম T কাগজের একপাশ দিয়া চিম্‌নিতে প্রবেশ করিতেছে এবং অপর পাশ দিয়া বাহির হইয়া যাইতেছে। এই ধোঁয়ার গতি প্রমাণ করে যে, চিমনির ভিতরে বায়ুতে পরিচলন স্রোত সৃষ্টি হইয়াছে। ইহার ফলে শিখাটি অক্সিজেন পাইয়া অনেকক্ষণ জ্বলিতে থাকে।

(3) টেবিল ল্যাম্প বা হ্যারিকেন লন্ঠন জ্বলিবার জন্যও এই বায়ুর পরিচলন স্রোত দায়ী। লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে, বাতির চিমনি যে ফ্রেমে আটকানো তাহাতে কয়েকটি ছিদ্র আছে। যখন বাতি জ্বলে তখন বাতির উপরকার বায়ু গরম হইয়া উপরে উঠে এবং পাশের ঠাণ্ডা হাওয়া এই ছিদ্র দিয়া চিম্‌নিতে প্রবেশ করে এবং অক্সিজেন সরবরাহ করে [চিত্র নং 31]। ফলে শিখা জ্বলিতে থাকে।

টেবিল ল্যাম্প জ্বলিবার জন্য বায়ুতে পরিচলন স্রোত প্রয়োজন
চিত্র নং 31

ছিদ্রগুলি যদি মোম দিয়া বন্ধ করা যায় তবে নতুন হাওয়া ঢুকিতে পারে না। ফলে শিখা কিছুক্ষণ জ্বলিয়া পরে নিভিয়া যায়।

(4) **ঘরে বায়ু চলাচল** (Ventilation) ঃ বায়ুতে পরিচলন স্রোত সৃষ্টির ফলে ঘরে বায়ু চলাচল প্রক্রিয়া সম্ভব হয়। ঘরে বেশী লোক থাকিলে তাহাদের নিঃশ্বাস-প্রশ্বাসে বা আগুন জ্বালিয়া রাখিলে ঘরের বায়ু দূষিত হয়। এই দূষিত ও উত্তপ্ত বায়ু হাল্‌কা হওয়ায় উপরে উঠিয়া যায় এবং ঘুলঘুলি দিয়া বাহির হইয়া যায়। বাহির হইতে ঠাণ্ডা ও পরিষ্কার বায়ু জানালা-দরজা দিয়া ঘরে প্রবেশ করে। ফলে ঘরের বায়ু বিশুদ্ধ থাকে।

ঘরের দরজা-জানালা বন্ধ করিয়া বায়ু চলাচলের পথ সম্পূর্ণ রুদ্ধ করিয়া যদি কেহ বাতি জ্বালাইয়া নিদ্রা যায় তবে তাহার প্রাণহানির আশঙ্কা থাকে। এই ধরনের দুর্ঘটনার সংবাদ তোমরা হয়তো শুনিয়াছ। ইহার কারণ এই যে, নিঃশ্বাস-প্রশ্বাসে ও বাতি জ্বলিবার ফলে রুদ্ধ গৃহের অক্সিজেন শীঘ্র নিঃশেষিত হইয়া যায়। বায়ু চলাচলের পথ না থাকায় বাহির হইতে পরিষ্কার বায়ু অক্সিজেন সরবরাহ করিতে পারে না। তাই অক্সিজেনের অভাবে লোকের মৃত্যু হয়।

(5) **বায়ুপ্রবাহ** (Wind) ঃ নানা সময়ে ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানের উষ্ণতা বিভিন্ন হয়। বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা ও আর্দ্রতাও বিভিন্ন হয়। এই কারণে উষ্ণ বাষ্পপূর্ণ বায়ু হালকা হইয়া উপরে উঠে এবং পার্শ্ববর্তী ঠাণ্ডা স্থান হইতে অপেক্ষাকৃত শীতল ও শুষ্ক বায়ু ঐ স্থানে প্রবাহিত হয়। এইজন্য প্রকৃতিতে মৌসুমী বায়ু, বাণিজ্য বায়ু প্রভৃতি নানাপ্রকারের বায়ুপ্রবাহ সৃষ্টি হয়।

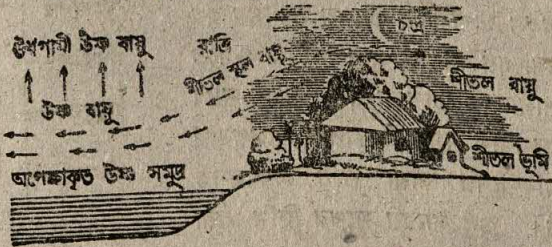
(6) **স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু** (Land and Sea breeze) ঃ প্রকৃতিতে বায়ুর পরিচলন স্রোতের জন্য স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ুর সৃষ্টি হয়। জল অপেক্ষা স্থলের

আপেক্ষিক তাপ কম। ফলে দিনের বেলাতে স্থলভাগ জল অপেক্ষা দ্রুত উত্তপ্ত হয় এবং তৎসংলগ্ন হাওয়া গরম হইয়া উপরে ওঠে ও সমুদ্র হইতে ঠাণ্ডা হাওয়া

সমুদ্রবায়ু

চিত্র নং 32(i)

স্থলের দিকে প্রবাহিত হয়। ইহাকে **সমুদ্রবায়ু** বলে [চিত্র নং 32 (i)]। ইহা দিনের বেলায় প্রবাহিত হয় এবং সন্ধ্যার দিকে সর্বাপেক্ষা প্রবল হয়।

রাত্রে স্থলভাগ জল অপেক্ষা দ্রুত ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে। সুতরাং সমুদ্রের

স্থলবায়ু

চিত্র নং 32 (ii)

উপরকার গরম হাওয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং স্থল হইতে অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা হাওয়া সমুদ্রের দিকে প্রবাহিত হয়। ইহাকেই **স্থলবায়ু** বলে [চিত্র নং 32 (ii)]। ইহা ভোরের দিকে সর্বাপেক্ষা প্রবল হয়।

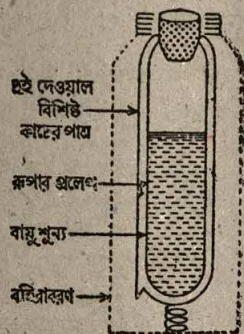
6-7. থার্মোফ্লাস্ক (Thermos flask) :

এই ফ্লাস্কে কোন উষ্ণ তরল (চা, দুধ প্রভৃতি) বহুক্ষণ উষ্ণ থাকে কিংবা কোন ঠাণ্ডা তরল বহুক্ষণ ঠাণ্ডা থাকে। ইহার কারণ এই যে, ইহার নির্মাণ কৌশল

বাহির হইতে ভিতরের সহিত তাপ সঞ্চালনের তিন প্রকার প্রণালীকেই নিবারণ করে। সুতরাং উষ্ণ তরল তাপ ধরিয়া রাখে, আবার ঠাণ্ডা তরল বাহির হইতে তাপ লয় না।

থার্মোফ্লাস্ক চিত্র নং 33

33 নং চিত্রে এই ফ্লাস্কের ছবি এবং 34 নং চিত্রে ইহার নক্‌শা দেখানো হইল। ইহা একটি দুই দেওয়ালবিশিষ্ট কাচের পাত্র। গলার দিক্‌টা একটু সরু এবং কর্ক দ্বারা বন্ধ করা যায়। এই কাচের পাত্রটি অপর একটি ধাতব পাত্রের আবরণের ভিতর রাখা হয় এবং উভয়ের ভিতর স্প্রীং দেওয়া থাকে। ইহার ফলে বাহিরের আঘাতে কাচপাত্র ভাঙিতে পারে না। কাচের পাত্রের দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থান যথাসম্ভব বায়ুশূন্য করা হয় এবং বাহিরের দেওয়ালের ভিতরের দিক ও ভিতরের দেওয়ালের বাহিরের দিক্ খুব পালিশ করা ও রূপার প্রলেপ দেওয়া থাকে।

কাচ তাপের কুপরিবাহী হওয়াতে এই পাত্র হইতে পরিবহন প্রণালীতে তাপের সঞ্চালন হয় না। দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থান বায়ুশূন্য করাতে পরিচলন প্রণালীতেও তাপ সঞ্চালন সম্ভব নয়। উপরন্তু দুই দেওয়াল মসৃণ ও রূপার প্রলেপযুক্ত হওয়াতে বিকিরণের দ্বারা তাপ সঞ্চালনও নিবারিত হয়। শুধু পাত্রের মুখের ছিপি দ্বারা একটু তাপ পরিবহন হইতে পারে। এইজন্য মুখ তাপের কুপরিবাহী কর্ক দ্বারা বন্ধ করা হয়। সুতরাং সকল রকম উপায়ে তাপের আদান-প্রদান বন্ধ হইবার ফলে ইহার অভ্যন্তরস্থ উষ্ণ তরল উষ্ণই থাকিবে অথবা শীতল তরল শীতলই থাকিবে।

থার্মোফ্লাস্কের নক্‌শা
চিত্র নং 34

6-8. বিকীর্ণ তাপের ধর্ম (Properties of radiant heat) :

পূর্বে বলা হইয়াছে কোন জড় মাধ্যমের সাহায্য না লইয়া অথবা জড় মাধ্যম থাকিলে তাহাকে উত্তপ্ত না করিয়া যে-প্রণালীতে তাপ একস্থান হইতে অন্য স্থানে সঞ্চালিত হয় তাহাকে বিকিরণ বলে। সূর্য হইতে এই প্রণালী দ্বারা তাপ পৃথিবীতে পৌ ছায়।

প্রকৃতপক্ষে যে-কোন উত্তপ্ত বস্তুই তাপ বিকিরণ করে। এই বিকীর্ণ

তাপের সঙ্গে আলোর সাদৃশ্য আছে। নিম্নলিখিত ধর্মগুলি হইতে এই সাদৃশ্য বোঝা যাইবে।

(1) আলোর মত বিকীর্ণ তাপ উত্তপ্ত বস্তু হইতে চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। একটি উত্তপ্ত ধাতব বলের চারিদিকে হাত ঘুরাইলে উপরোক্ত বাক্যের সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

(2) বিকীর্ণ তাপ আলোর মত শূন্যস্থান দিয়া চলাচল করিতে পারে। ইহার প্রমাণ সূর্য হইতে পৃথিবীতে তাপ পৌঁছান ; কারণ সূর্য ও পৃথিবীর ভিতর বেশীর ভাগ জায়গা শূন্য।

(3) আলোর মত বিকীর্ণ তাপ সরল রেখায় চলে। ইহা ফলে ছাতা খুলিয়া সূর্যের তাপ হইতে দেহকে আড়াল করা যায়।

(4) আলোর মত বিকীর্ণ তাপেরও প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয়। লেন্স দ্বারা সূর্যরশ্মি প্রতিসৃত করিয়া কাগজ পোড়ানো তোমরা অনেকেই দেখিয়াছ।

(5) বিকীর্ণ তাপের গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান।

6-9. বিকিরণ ও শোষণ সম্পর্কে কয়েকটি উদাহরণ ঃ

প্রত্যেক বস্তুর তাপ বিকিরণ ও শোষণ করিবার ক্ষমতা আছে। ইহা বস্তুর কয়েকটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে, যেমন—বস্তুর তাপমাত্রা এবং পরিপার্শ্বের তাপমাত্রা, বস্তুর পৃষ্ঠের (surface) প্রকৃতি, বস্তুর উপাদান ইত্যাদি। ইহা সহজেই প্রমাণ করা যায় যে, যে-বস্তু উত্তম বিকিরক, তাহা উত্তম-শোষকও বটে। আবার যে বস্তু উত্তম বিকিরক নয়, শোষক হিসাবেও তাহা উত্তম নয়। যেমন, কৃষ্ণবস্তু (black body) তাপের উত্তম বিকিরক ও উত্তম শোষক কিন্তু চক্‌চকে বস্তু তাপের মন্দ বিকিরক এবং মন্দ শোষক। বিকিরণ ও শোষণ সম্পর্কে কয়েকটি প্রয়োজনীয় উদাহরণ নিম্নে দেওয়া হইল ঃ

(i) হাড়ির তলা চক্‌চকে থাকিলে, তাহাতে জল গরম করিতে যে সময় লাগে, তলা কালো ও অমসৃণ থাকিলে অনেক কম সময়ে জল গরম হয়। কালো ও অমসৃণ হওয়ায় হাড়ির ঐ তলা আগুন হইতে বেশী তাপ শোষণ করিবে কিন্তু চক্‌চকে হইলে অনেক কম তাপ শোষণ করিবে। বেশীরভাগ তাপ চক্‌চকে তলা হইতে প্রতিফলিত হইয়া যাইবে। সুতরাং জল গরম হইতে সময়ের তারতম্য হইবে। তোমরা হয়তো লক্ষ্য করিয়াছ, বাড়ীতে ভাত রাঁধিবার ধাতব হাঁড়ির তলা মাটি লেপিয়া দেওয়া হয়। আগুনে পুড়িয়া উহা কালো হইয়া থাকে। ইহাতে রন্ধনদ্রব্য দ্রুত তাপ পাইয়া সিদ্ধ হয়।

একই কারণে চক্‌চকে পালিশ করা জুতা পরিলে আরাম বোধ হয়।

(ii) শীতকালে কালো রং-এর জামা গায়ে দেওয়া এবং গরমকালে সাদা জামা গায়ে দেওয়া আরামপ্রদ—ইহা তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ কি ? কালো জামা

সূর্য হইতে বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে এবং দেহের সহিত আঁটিয়া থাকিয়া দেহকে উত্তপ্ত রাখে তাই শীতকালে কালো বা রঙ্গীন জামা গায়ে দিলে দেহ গরম থাকে এবং আরাম অনুভব করা যায়। আবার গরমকালে সাদা জামা সূর্যকিরণের বেশীর ভাগ প্রতিফলিত করিয়া দেয়—খুব অল্প অংশ শোষণ করে। তাই দেহ বিশেষ গরম হইতে পারে না।

(iii) ছাতার কাপড় কালো রংয়ের করা হয় তাহা তোমরা নিশ্চয়ই দেখিয়াছ। ইহার কারণ আছে। কৃষ্ণ বস্তু উত্তম শোষক ও উত্তম বিকিরক বলিয়া ছাতার কালো কাপড়ে সূর্যকিরণ পড়িলে কাপড় তাপ শোষণ করে কিন্তু ঐ তাপ দ্রুত চতুর্দিকে বিকীর্ণ হইয়া যায়। বিকীর্ণ তাপ বায়ুর ভিতর দিয়া চলাচল করিলে, বায়ু উত্তপ্ত হয় না। তাই গ্রীষ্মকালে রৌদ্রের ভিতর ছাতা খুলিয়া চলিলে তত গরম বোধ হয় না।

(iv) শুষ্ক বায়ু আর্দ্র বায়ু অপেক্ষা কম তাপ শোষণ করে। অর্থাৎ শুষ্ক বায়ু তাপের মন্দ শোষক। তাই, শীতকালে যেদিন মেঘলা থাকে, সেদিন বায়ু খুব আর্দ্র হইয়া পড়ে। ফলে, বায়ু সূর্যরশ্মি হইতে বেশী তাপ শোষণ করিয়া উত্তপ্ত হয় এবং সেদিন তেমন শীত অনুভব করা যায় না। আবার, যেদিন আকাশ পরিষ্কার থাকে, বায়ুও শুষ্ক হয় এবং কম তাপ শোষণ করে। সেদিন শীতের প্রকোপ বেশী হয়।

সাধারণত রাত্রিবেলা আকাশ মেঘলা থাকিলে, একটু গরম বোধ হয়। দিনের বেলা উত্তপ্ত পৃথিবী-পৃষ্ঠ রাত্রে তাপ বিকিরণ করিয়া শীতল হইতে চায়; কিন্তু রাত্রে আকাশ মেঘলা থাকিলে, বিকীর্ণ তাপ মেঘ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় পৃথিবীপৃষ্ঠে ফিরিয়া আসে। তাই একটু গরম বোধ হয়।

(v) মরুভূমি অঞ্চলে দিনে তীব্র গরম এবং রাত্রিতে খুব ঠাণ্ডা পড়ে। মরুভূমির বায়ু শুষ্ক হওয়ায়, ঐ বায়ু তাপস্বচ্ছ পদার্থের মত ক্রিয়া করে। তাই দিনের বেলায় সূর্যের বিকীর্ণ তাপ অতি সহজে বায়ুর ভিতর দিয়া ভূপৃষ্ঠে সঞ্চালিত হয় এবং ভূপৃষ্ঠ দ্রুত উত্তপ্ত হইয়া ওঠে। রাত্রিতে উত্তপ্ত ভূপৃষ্ঠ ঐ তাপ বিকিরণ করে। শুষ্ক বায়ুর ভিতর দিয়া এই তাপ সহজেই বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া চলিয়া যাইতে পারে। ফলে, ভূপৃষ্ঠ দ্রুত শীতল হয়। এই কারণে মরুভমি অঞ্চলে, দিনে যেমন তীব্র গরম আবার রাত্রিতে তেমনি তীব্র ঠাণ্ডা।

প্রশ্নাবলী

1. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি কি? ইহাদের উদাহরণ সহযোগে বুঝাইয়া দাও। ইহাদের ভিতর পার্থক্য কি? [*M. Exam., 1980, '82, '86*]

2. তাপের পরিচলন দেখাইবার দুটি উদাহরণ দাও। [*M. Exam., 1984*]

3. তাপের পরিবহন ও পরিচলনের মধ্যে পার্থক্য কি? বিকিরণ কাহাকে বলে? তাপের সু ও কু-পরিবাহীর একটি করিয়া ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর। [*M. Exam., 1983*]

4. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :—(ক) রৌদ্রে রাখা এক টুকরা লোহা ও একখণ্ড কাঠ স্পর্শ করিলে কোন্‌টা বেশী গরম মনে হয় এবং কেন? (খ) একটি বার্নারের উপর তামার তারের জাল রাখিয়া জালের উপরে অগ্নিসংযোগ করিলে শিখা উপরেই থাকে—নীচে যায় না। কেন? (গ) পশমের পোশাককে গরম বলা হয় কেন? [*M. Exam., 1981*] (ঘ) কেট্‌লির হাতলে বেত জড়ানো থাকে কেন? [*M. Exam., 1981*]

5. থার্মোফ্লাস্কের বিবরণ লিখ ও উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam., 1981*]

6. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :—

(ক) থার্মোফ্লাস্কের দুই দেওয়ালের অন্তর্বর্তী স্থান সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য করা হয় কেন? (খ) এই দেওয়াল দুইটির যে-তল বায়ুশূন্য স্থানের মুখোমুখী তাহাতে পারদের প্রলেপ দেওয়া হয় কেন? (গ) ফ্লাস্কের মুখ কর্ক দ্বারা বন্ধ রাখা হয় কেন?

7. তাপের পরিচলন উপকারে লাগে এরূপ দুইটি উদাহরণ দাও। [*M. Exam., 1984*]

8. শীতকালে একটি লৌহখণ্ডকে একই উষ্ণতায় একটি কাঠখণ্ড অপেক্ষা শীতলতর বলে মনে হয় কেন? [*M. Exam., 1984*]

9. তাপের সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী বলিতে কি বুঝায়? উহাদের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

10. বাড়ীতে রান্নার পাত্র মসৃণ, অমসৃণ, কালো বা সাদা—কোন্ প্রকার হওয়া উচিত কারণ-সহ বল।

11. নিম্নলিখিত উক্তিগুলির কারণ দেখাও :

(a) খড়ের ছাদযুক্ত বাসগৃহ গরমে ঠাণ্ডা এবং শীতে গরম থাকে। (b) কম্বলে ঢাকিয়া রাখিলে মানুষের দেহ শীতের দিনে গরম থাকে অথচ এক টুকরা বরফ কম্বলে ঢাকিয়া রাখিলে গরমের দিনে ঠাণ্ডা থাকে। (c) শীতকালে খালি পায়ে ঘরের পাথরের মেঝে ঠাণ্ডা লাগে কিন্তু কিন্তু ঐ ঘরেই কার্পেট অপেক্ষাকৃত উষ্ণ লাগে। (d) শীতকালে রঙিন পোশাক আরামদায়ক কিন্তু গরমকালে সাদা পোশাক আরামদায়ক। (e) কোন আগুনের উপরে যত গরম ঠিক আগুনের সম্মুখে সমান দূরত্বে কম গরম লাগে। (f) ছাতার কাপড় কালো রংয়ের হয়।

(g) শীতকালে একটি জামা পরিলে যত আরাম লাগে সমান পুরু দুইটি জামা গায়ে দিলে বেশী আরাম লাগে।

12. তাপক্ষয় নিবারণের দুইটি কার্যকর উপায় উল্লেখ কর। [*M. Exam., 1986*]

13. ভ্যাকুয়াম্ ফ্লাস্কের কার্যপ্রণালী একটি পরিষ্কার চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। সূর্য হইতে পৃথিবীপৃষ্ঠে তাপ কিভাবে আসিয়া পৌঁছায় আলোচনা কর। রন্ধন পাত্রের তলদেশ তামার এবং হাতল বেকেলাইটের দ্বারা নির্মিত হইলে সুবিধা হয় কেন? [*M. Exam., 1987*]

14. (a) রৌদ্রে রাখা ধাতুখণ্ড ও কাষ্ঠখণ্ডের মধ্যে ধাতুখণ্ডটিকে বেশী তপ্ত মনে হয় কেন? [*M. Exam., 1988*]

(b) কেটলীর হাতলে বেত জড়ানো থাকে কেন? [*M. Exam., 1985*]

(c) স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু পরিচলন স্রোতের ফল। কেন? [*M. Exam., 1985*]

15. (i) কঠিন (ii) তরল (iii) গ্যাস এবং (iv) শূন্য মাধ্যমের ভিতর দিয়া তাপ সঞ্চালন পদ্ধতির নাম উল্লেখ কর।

16. (i) একটি সরল চিত্র আঁকিয়া (ii) দিনে এবং রাত্রিতে উপকূল বায়ুর গতির অভিমুখ নির্দেশ কর। দিনের বেলায় স্থলভাগ জলভাগ অপেক্ষা বেশী উত্তপ্ত হয় কেন?

17. একটি ফ্লাস্কে জল লইয়া 23 নং চিত্রের মত গরম করা হইল। এই পরীক্ষায় যে-পদ্ধতিতে জল উষ্ণ হইবে তাহার নাম লেখ। চিত্রে তীরচিহ্নগুলি কি বুঝাইতেছে? এই ফলাফল ভালভাবে লক্ষ্য করিবার জন্য তুমি কি করিবে?

18. বায়ুশূন্য বিজলী বাতির উষ্ণ ফিলামেন্ট হইতে তাপ কি পদ্ধতিতে বাতির দেওয়ালে পৌঁছায়?

● Objective type :

19. নিম্নলিখিত উক্তিগুলি শুদ্ধ কি অশুদ্ধ তাহা পাশের ☐ চিহ্নিত স্থানে যথাক্রমে √ বা × চিহ্ন দিয়া বুঝাও :—

(a) তাপ বিকিরণে বায়ুর উপস্থিতির প্রয়োজন নাই। ☐

(b) মসৃণ চকচকে তল তাপের উত্তম বিকিরক। ☐

(c) শীতপ্রধান দেশের লোকেরা কালো বা রঙীন বস্ত্রের চাইতে সাদা বস্ত্র বেশী পছন্দ করে। ☐

(d) উপযুক্ত লেন্সের দ্বারা কাগজের উপর সূর্যের প্রতিবিম্ব ফোকাস করিয়া কাগজ পোড়ানো যায়। ☐

(e) বরফ যাহাতে না গলে সেইজন্য বরফকে কম্বলে ঢাকিয়া রাখা হয়। ☐

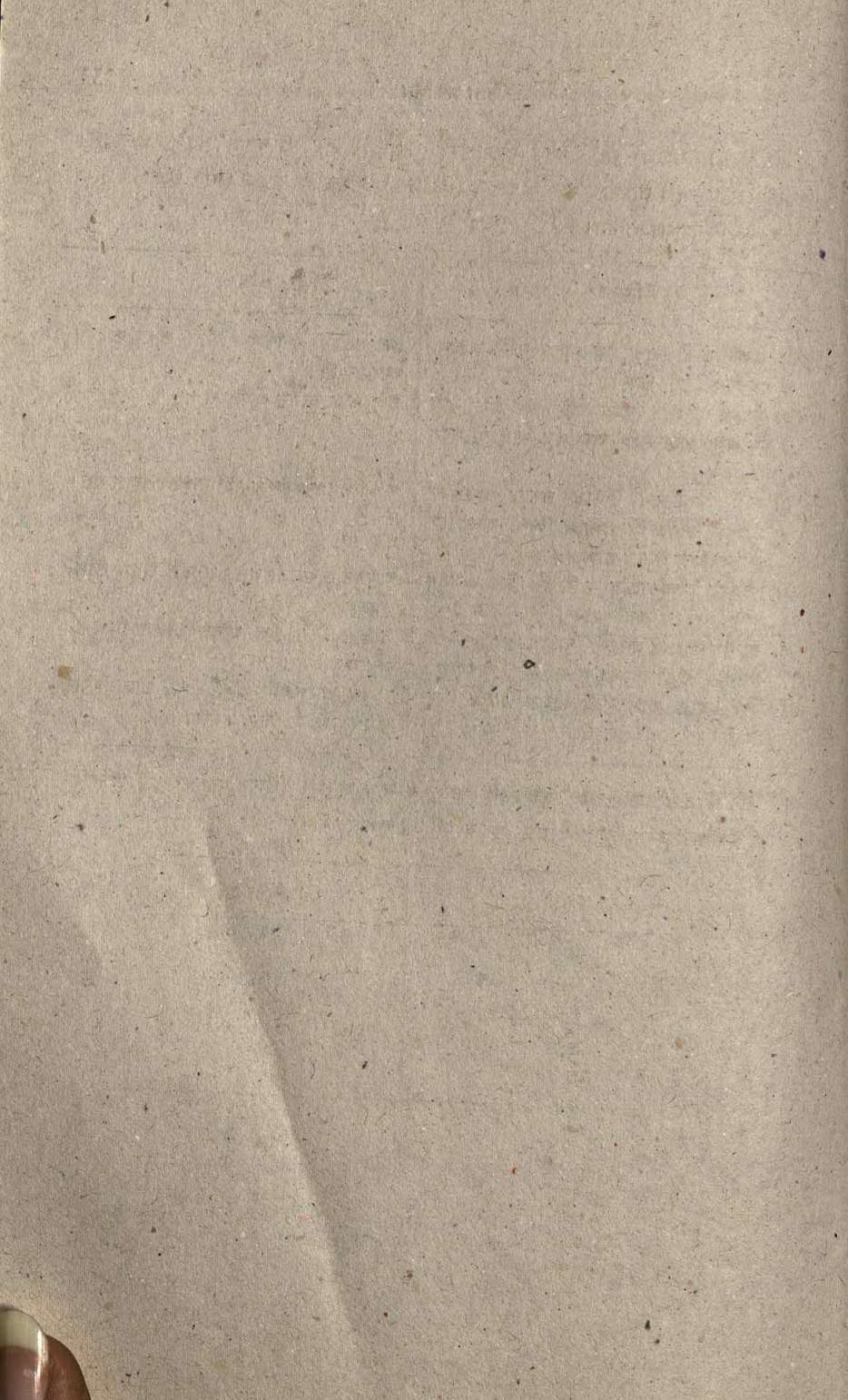
(f) শূন্য মাধ্যমে বিকীর্ণ তাপ আলোর গতিবেগ অপেক্ষা কম গতিবেগে চলাচল করে। ☐

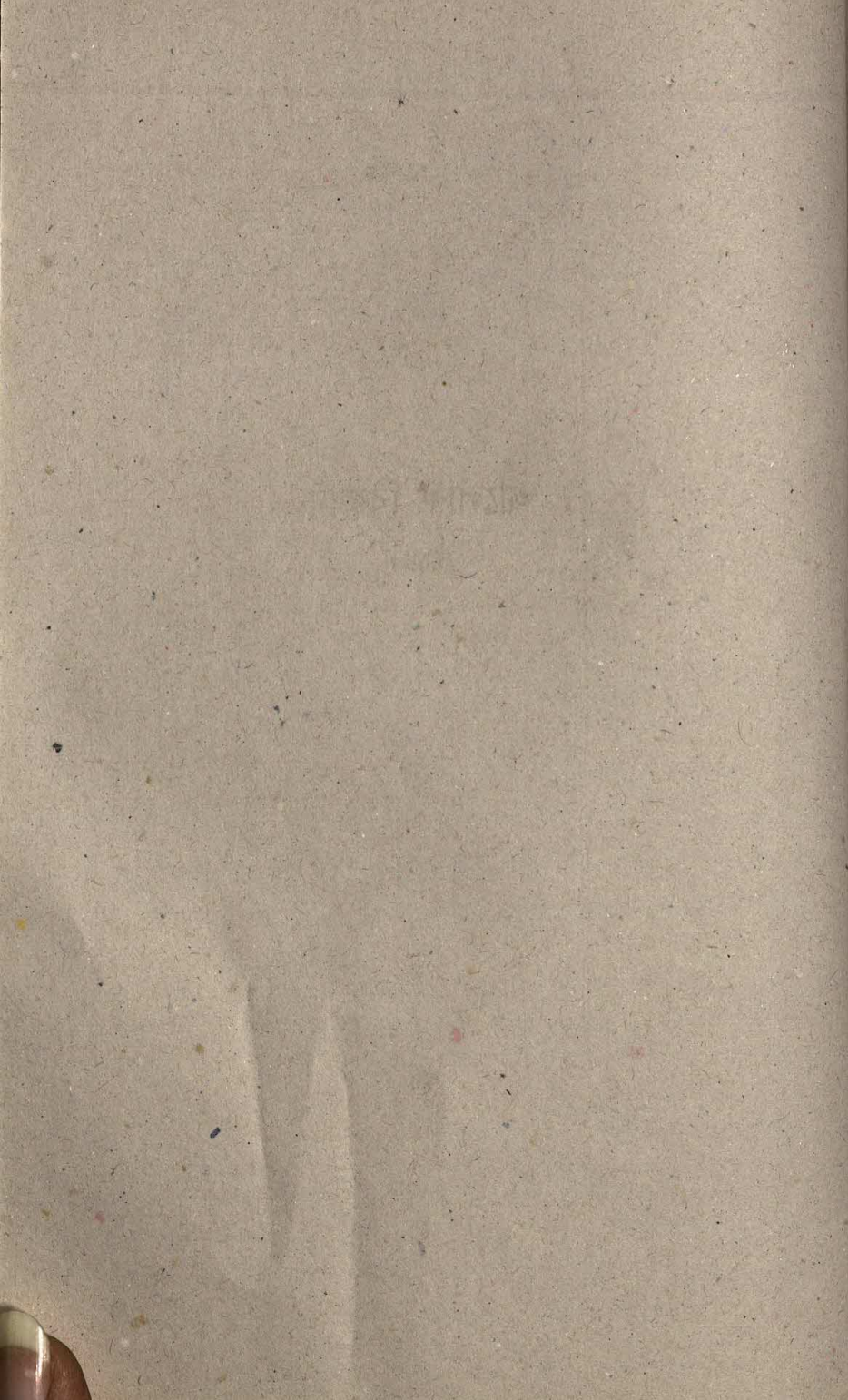
20. (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত কতকগুলি উক্তি A এবং B পাশাপাশি দেওয়া আছে। নির্দেশ কর যে—(i) উক্তি A শুদ্ধ কি অশুদ্ধ (ii) উক্তি B শুদ্ধ কি অশুদ্ধ (iii) উক্তি B উক্তি A-র শুদ্ধ কি অশুদ্ধ ব্যাখ্যা।

উক্তি 'A'	উক্তি 'B'
(a) একটি ভারী পোশাকের চাইতে দুইটি আলগা পোশাক বেশী উষ্ণ।	যে তন্তুতে পোশাক তৈরী তাহা তাপের কুপরিবাহী।
(b) ঘরের ছাদের কাছাকাছি অঞ্চলের বায়ু মেঝের কাছাকাছি অঞ্চলের বায়ু অপেক্ষা উষ্ণতর।	ইহা পরিচলনের জন্য হয়।
(c) গ্যাস বার্নারের শিখার উপরে একখানা তামার তারজালি ধরিলে, শিখা অনায়াসে তারজালির উপরে চলিয়া যায়।	তামা তাপের সুপরিবাহী বলিয়া এরূপ হয়।
(d) রান্নার বাসনপত্রের বাহিরের দিক অমসৃণ ও কালো রং করা থাকে।	অমসৃণ ও কালো রঙয়ের তল উত্তম তাপ-শোষক।
(e) চায়ের কাপের বহির্দেশ পালিশ করা থাকিলে কাপের ভিতরকার চা অনেকক্ষণ উষ্ণ থাকে।	পালিশ করা তল হইতে তাপের বিকিরণ খুব কম হয়।
(f) সূর্য হইতে তাপ বায়ুমণ্ডলের ভিতর দিয়া আসিলেও বায়ুমণ্ডল উত্তপ্ত হয় না।	বায়ুর আপেক্ষিক তাপ কম; তাছাড়া বায়ু তাপের উত্তম পরিবাহী নয়।

21. নিচের তালিকায় কতকগুলি পদার্থের নাম আছে। উহাদের পার্শ্ববর্তী "প্রকৃতি" স্তম্ভে উল্লেখ কর যে উহারা তাপের সুপরিবাহী কি কুপরিবাহী ঃ

পদার্থ	প্রকৃতি
1. কাঠ	..
2. রূপা	..
3. জল	..
4. কর্ক	..
5. পারদ	..

———

আলোক বিজ্ঞান

[Light]

আলোকের ঋজুগতি ও ছায়ার উৎপত্তি

[Rectilinear motion of light and formation of shadow]

1-1. আলোকের প্রকৃতি (Nature of light) ঃ

পারিপার্শ্বিক জগতের সহিত আমাদের পরিচয় মূলত দৃষ্টি দ্বারা। চোখ মেলিলে আমরা আমাদের চারিদিকে নানারকম জিনিস দেখিতে পাই। কিন্তু শুধু চোখ থাকিলে কি দেখা যায়? একটি অন্ধকার ঘরে যদি চোখ মেলিয়া থাকা যায় তবে কি ঘরের কোন জিনিস দেখা যায়? আবার পূর্ণ আলোকিত ঘরে চোখ বন্ধ করিয়া রাখিলেও কোন জিনিস দেখা যায় না। সুতরাং চোখ দ্বারা কিছু দেখিতে হইলে একটি বাহ্যিক কারণ প্রয়োজন। অর্থাৎ, বস্তু হইতে আলো যখন চোখে আসিয়া পড়ে তখনই আমাদের উক্ত বস্তু সম্পর্কে দর্শন অনুভূতি হয়। অতএব আলো-কে আমরা এমন এক বাহ্যিক প্রেরণা (stimulus) বলিতে পারি যাহা চোখে কোন দ্রব্য সম্বন্ধে দর্শন অনুভূতি জাগায়।

তাপ, বিদ্যুৎ প্রভৃতির ন্যায় আলোও একপ্রকার শক্তি। একটি ধাতব বলকে উত্তপ্ত করিলে বল তাপশক্তি নির্গত করে। এস্থলে কয়লার রাসায়নিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। বলকে ক্রমাগত উত্তপ্ত করিলে একসময় ইহা আলোক বিচ্ছুরণ করিবে। তখন রাসায়নিক শক্তির খানিকটা অংশ আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তেমনি বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালিলে বিদ্যুৎশক্তি অংশত আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই সব উদাহরণ হইতে আমরা বলিতে পারি যে, আলোকও একপ্রকার শক্তি।

আলো বস্তুকে দৃশ্যমান করে; কিন্তু নিজে অদৃশ্য। আমরা আলো দেখিতে পাই না কিন্তু আলোকিত বস্তুকে দেখি। কথাটা হয়তো তোমাদের কাছে একটু জটিল বোধ হইতে পারে। তোমরা বলিবে যে, সকাল বেলায় রৌদ্রের আলো যখন ঘরের বারান্দায় আসিয়া পড়ে তখন তো আমরা আলোই দেখি। কিন্তু একটু ভাবিলে বুঝিতে পারিবে যে, যাহা দেখ তাহা আলো নয়---আলো দ্বারা উজ্জ্বল বারান্দার কিছু অংশ। রাত্রিবেলা মোটরের হেড্‌লাইট জ্বালিয়া দিলে বহুদূর পর্যন্ত আলোকিত হয়। প্রথমে মনে হইতে পারে যে, ঐ ত' আলো দেখা গেল। কিন্তু তাহা ঠিক নয়। অসংখ্য ধূলিকণার উপর আলো পড়িয়া সহসা উহারা আমাদের দৃষ্টিগোচর হইল বলিয়া আমরা ঐ আলোকিত ধূলিকণাগুলি দেখি, আলো দেখি না।

কাজেই স্মরণ রাখিবে যে, অন্যান্য শক্তির ন্যায় আলোকশক্তিও অদৃশ্য।

আলোক একস্থান হইতে অন্যস্থানে তরঙ্গের আকারে বিস্তৃত হয়। আলোক তরঙ্গ তির্যক (transverse) এবং ইহার দৈর্ঘ্য খুব ক্ষুদ্র। আলোকের গতি সেকেণ্ডে প্রায় 1,86,000 মাইল বা 2,97,600 কিলোমিটার।

1-2. আলোক-বিজ্ঞান সম্বন্ধে কয়েকটি সংজ্ঞা :

(1) **আলোক-প্রভব** (Source of light) : **যে-বস্তু আলোক প্রদান করিতে পারে তাহাকে আলোক-প্রভব বলে।** ইহাদের ভিতর একপ্রকার বস্তু আছে যাহারা নিজ হইতে আলোক বিচ্ছুরণ করিতে পারে। যেমন---সূর্য, নক্ষত্র, জ্বলন্ত বাতি ইত্যাদি। ইহাদের বলা হয় **স্বপ্রভ** (luminous) **বস্তু।**

আবার অন্য এক প্রকার বস্তু আছে যাহারা স্বপ্রভ বস্তু হইতে আলোক গ্রহণ করিয়া পরে সেই আলো বিচ্ছুরণ করে। ইহাদের বলা হয় **অপ্রভ** (non-luminous) বস্তু। চাঁদ অপ্রভ বস্তু। চাঁদের নিজের কোন আলো নাই। সূর্য হইতে আলো পাইয়া চাঁদ আলো বিকিরণ করে। বেশীর ভাগ বস্তুই অপ্রভ। চেয়ার, টেবিল প্রভৃতি পারিপার্শ্বিক দৃশ্যমান বস্তু স্বপ্রভ বস্তু হইতে আলো গ্রহণ করিয়া দৃষ্টির গোচরে আসে।

আলোক-বিজ্ঞান আলোচনা করিতে গিয়া আমরা বিন্দু প্রভব (point source) ও বিস্তৃত প্রভবের (extended source) কথা বলিব। বিন্দু প্রভব বলিতে জ্যামিতিক বিন্দু বুঝাইবে এবং বিস্তৃত প্রভব বলিতে এমন বস্তু বুঝাইবে যাহার কিছু আকার (size) আছে; একথা মনে রাখিতে হইবে আকার-বিশিষ্ট বিস্তৃত প্রভবকে অসংখ্য বিন্দুপ্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে।

(2) **আলোক মাধ্যম** (Optical medium) : **যে-মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো চলাচল করিতে পারে তাহাকে আলোক মাধ্যম বলা হয়।**

এই মাধ্যম যদি এমন হয় যে, আলো চতুর্দিকে সমান গতিতে যায় তবে ঐ মাধ্যমকে **সমসত্ত্ব** (homogeneous) মাধ্যম বলা হয়। যেমন---বায়ু, জল, কাচ ইত্যাদি সমসত্ত্ব মাধ্যম।

যে সমসত্ত্ব মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো অতি সহজে যাতায়াত করিতে পারে তাহাকে **স্বচ্ছ** (transparent) মাধ্যম বলে। কাচ, জল ইত্যাদি স্বচ্ছ।

যে-মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো মোটেই যাইতে পারে না, তাহাকে **অস্বচ্ছ** (opaque) মাধ্যম বলে। যেমন---পাথর, লোহা ইত্যাদি।

আবার, যে-মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলো আংশিকভাবে যাইতে পারে তাহাকে **ঈষৎ স্বচ্ছ** (translucent) মাধ্যম বলা হয়। ঘষা কাচ, তেলা কাগজ ইত্যাদি ঈষৎ স্বচ্ছ মাধ্যমের উদাহরণ।

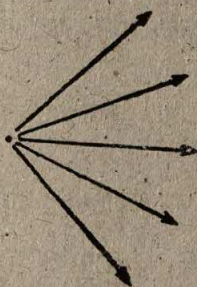
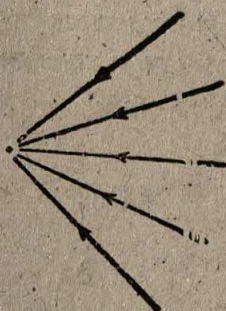
(3) **আলোক-রশ্মি ও রশ্মিগুচ্ছ** (Ray of light and a beam of light) : কোন সমসত্ব মাধ্যমে আলো সরল রেখায় চলাচল করে। সুতরাং একটি সরলরেখা আলোকরশ্মির পথকে বুঝাইয়া দিবে।

ঐরূপ কতকগুলি আলোকরশ্মি মিলিয়া একটি রশ্মিগুচ্ছ সৃষ্টি করে। একথা মনে রাখা প্রয়োজন যে, একটি রশ্মি সৃষ্টি করা সম্ভব নয়। প্রভব যতই ক্ষুদ্র হউক না কেন, তাহা হইতে সর্বদা রশ্মিগুচ্ছ বিকীর্ণ হইবে। সুতরাং আমাদের রশ্মিগুচ্ছ লইয়াই আলোচনা করিতে হইবে।

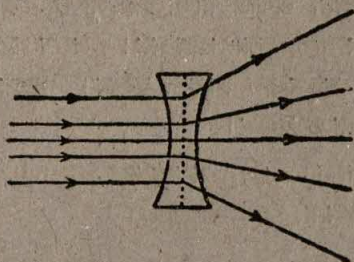
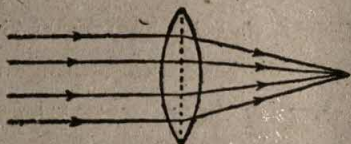
রশ্মিগুচ্ছ তিন প্রকার হইতে পারে। (1) **সমান্তরাল** (parallel), (2) **অপসারী** (divergent) ও (3) **অভিসারী** (convergent)।

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল (1নং চিত্র)। বহুদূরে অবস্থিত কোন প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছকে আমরা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বলিতে পারি। যেমন, সূর্য হইতে বিকীর্ণ রশ্মিগুলি সমান্তরাল। তাছাড়া, লেন্স বা গোলীয় দর্পণ (spherical mirror) দ্বারাও কৃত্রিম উপায়ে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ তৈয়ারী করা যায়।

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ চিত্র নং 1

যখন কোন বিন্দু প্রভব হইতে রশ্মিগুচ্ছ শঙ্কুর (conical) আকারে এমনভাবে ছড়াইয়া পড়ে যে প্রভব উক্ত শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু, তখন ঐ রশ্মিগুচ্ছকে **অপসারী রশ্মিগুচ্ছ** বলে (2নং চিত্র দেখ)।

অপসারী রশ্মিগুচ্ছ
চিত্র নং 2

অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ
চিত্র নং 3

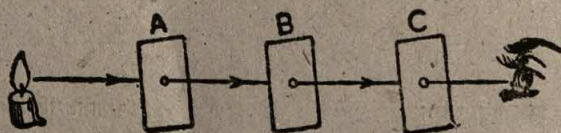
আবার, যখন কোন প্রভব হইতে রশ্মিগুচ্ছ এমনভাবে আসে যে তাহারা এক বিন্দুতে মিলিত হয়, তখন তাহাকে **অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ** বলে (3নং চিত্র)।

একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে অবতল (concave) লেন্সের ভিতর দিয়া পাঠাইলে উহা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় (4নং চিত্র) এবং উত্তল (convex) লেন্সের ভিতর দিয়া পাঠাইলে উহা অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় (5নং চিত্র)।

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইল
চিত্র নং 4

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইল
চিত্র নং 5

1-3. আলোকের ঋজুগতির পরীক্ষামূলক প্রদর্শন (Demonstration of rectilinear motion of light) ঃ

আমাদের নানারকম সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে জানিতে পারি যে, আলোকের গতি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া হয়। অন্ধকার রাস্তায় মোটর গাড়ীর হেড্ লাইট হইতে আলো বিচ্ছুরিত হইলে দেখা যায় যে উহা সরলরেখায় যায়। একটি অন্ধকার ঘরের জানালায় একটি ছোট ফুটা করিলে রৌদ্র যখন ঐ ফুটা দিয়া ঘরে প্রবেশ করে তখন ঘরের বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণাগুলি রৌদ্র দ্বারা আলোকিত হয়। তখন স্পষ্ট বোঝা যায় আলো সরলরেখায় চলে।

পরীক্ষাগারে নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা আলোকের ঋজুগতির সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

পরীক্ষা ঃ A, B, C তিনটি শক্ত কাগজের বোর্ড। উহাদের প্রত্যেকের

আলোকের ঋজুগতির পরীক্ষা
চিত্র নং 6

গায়ে একটি করিয়া ছোট ছিদ্র আছে। এই তিনটি বোর্ড এমনভাবে সাজাও যেন

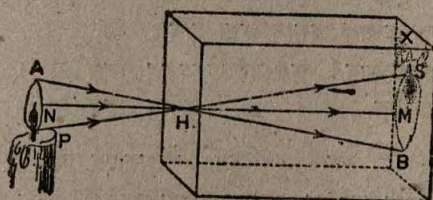
ছিদ্র তিনটি এবং একটি মোমবাতির শিখা একই সরলরেখায় থাকে (6নং চিত্র)। এখন C বোর্ডের অপর পার্শ্বে চোখ রাখিয়া ছিদ্র তিনটির ভিতর দিয়া শিখা লক্ষ্য কর। দেখিবে যে শিখা দেখিতে গেলে চোখকে ছিদ্র তিনটির সহিত একই সরলরেখায় রাখিতে হইতেছে।

এখন যে-কোন একটি বোর্ডকে উপর-নীচ অথবা পাশে একটু সরাইলে আর শিখা দেখা যাইবে না। ইহার কারণ এই যে, আলো স্থানচ্যুত বোর্ড কর্তৃক বাধা পাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে, আলো সরলরেখায় চলাচল করে। যদি আলো বক্ররেখায় যাইতে পারিত তবে অনায়াসে স্থানচ্যুত বোর্ডের ছিদ্র দিয়া আসিয়া চোখে পৌঁছাইত।

1-4. সূচীছিদ্র ক্যামেরা (Pin-hole camera) ঃ

এই ক্যামেরার কার্য-পদ্ধতি দ্বারা প্রমাণ হয় যে আলো সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলাচল করে।

7নং চিত্রে একটি সূচীছিদ্র ক্যামেরার ছবি দেখানো হইল। এই ক্যামেরা একটি আয়তাকার (rectangular) বাক্সের তৈয়ারী। বাক্সের সম্মুখতল কার্ড-বোর্ডের তৈয়ারী এবং ইহাতে একটি সূচীছিদ্র H আছে। বিপরীত তল X একটি ঘষা কাচের প্লেটের তৈয়ারী। বাক্সের অভ্যন্তর কালো রং করা থাকে। ইহাতে আলোর প্রতিফলন বন্ধ হয়; সূচীছিদ্রের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে ঘষা-কাচের উপর উহার উল্টা ছবি পড়িবে।

ধরা যাউক, ছিদ্রের সম্মুখে একটি মোমবাতি দাঁড় করানো আছে (7নং চিত্র)। মোমবাতির শিখার যে-কোন জায়গা হইতে, ধর---A বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি চতুর্দিকে গমন করিবে; কিন্তু যে রশ্মি সোজাসুজি ছিদ্রের ভিতর দিয়া যাইতে পারিবে, যেমন AH রশ্মি—তাহাই B বিন্দুতে A বিন্দুর প্রতিকৃতি তৈয়ারী

সূচীছিদ্র ক্যামেরা

চিত্র নং 7

করিবে। তেমন N এবং P বিন্দু হইতে রশ্মি নির্গত হইয়া সোজাসুজি ছিদ্র দিয়া যথাক্রমে M এবং S বিন্দুতে প্রতিকৃতি তৈয়ারী করিবে। এইরূপে সমগ্র

শিখার উল্টা প্রতিকৃতি ঘষা-কাচের উপর পড়িবে। যদি ঘষা-কাচের পরিবর্তে ফটোগ্রাফী-প্লেট রাখা যায় তবে প্লেটে শিখার ছবি উঠিবে। সুতরাং উহা হইতে প্রমাণ হয় যে আলো সরলরেখায় চলে।

(ক) সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার প্রতিকৃতির বৈশিষ্ট্য ঃ

(1) প্রতিকৃতি উল্টা।

(2) প্রতিকৃতি সর্বদা ফোকাসে থাকে; অর্থাৎ প্রতিকৃতিকে ফোকাস করিবার প্রয়োজন হয় না।

(3) ইহাতে কোন লেন্স থাকে না বলিয়া প্রতিকৃতি সকল প্রকার আলোকীয় ত্রুটি হইতে মুক্ত।

[**দ্রষ্টব্য ঃ** সূচীছিদ্র ক্যামেরাতে বস্তুর যে-ছবি দেখা যায় উহাকে প্রতিবিম্ব (image) বলা চলে না। প্রতিবিম্ব কিরূপে সৃষ্টি হয় তাহা পরে আলোচনা করা হইয়াছে।]

(খ) সূচীছিদ্র ক্যামেরা সম্বন্ধে কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় ঃ

(1) যদি ক্যামেরার ছিদ্র বড় করা যায় তবে প্রতিকৃতি অস্পষ্ট হইবে। কারণ বড় ছিদ্র অনেকগুলি ছোট ছোট ছিদ্রের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে। প্রত্যেক ছিদ্রই এক একটি প্রতিকৃতি সৃষ্টি করিবে এবং এই প্রতিকৃতিগুলি একে অপরের উপর পড়িয়া আসল প্রতিকৃতি অস্পষ্ট করিয়া দিবে। কিন্তু যদি ছিদ্র খুব ছোট হয় তবে প্রতিকৃতির সীমারেখা (outline) খুব স্পষ্ট হইবে।

(2) যে-বস্তুর প্রতিকৃতি তৈয়ারী হইবে তাহা যদি ছিদ্র হইতে দূরে সরাইয়া লওয়া হয় তবে প্রতিকৃতির সাইজ ছোট হইয়া যাইবে।

(3) যদি বস্তুর দূরত্ব ঠিক রাখিয়া ঘষা কাচ অর্থাৎ পর্দা ছিদ্র হইতে দূরে সরানো যায় তবে প্রতিকৃতির সাইজ বৃদ্ধি পাইবে।

সূচীছিদ্র H-এর ভিতর দিয়া বস্তু ও প্রতিকৃতির লম্বভাবে একটি রেখা (NHM) টানিলে, বস্তু ও প্রতিকৃতির আকারের সহিত সূচীছিদ্র হইতে উহাদের দূরত্বের নিম্নলিখিত সম্পর্ক প্রমাণ করা যায় ঃ

$$\frac{\text{বস্তুর আকার}}{\text{প্রতিকৃতির ,,}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব (NH)}}{\text{,, \quad ,, পর্দার দূরত্ব (MH)}}$$

উদাহরণ ঃ (1) একটি সূচীছিদ্র ক্যামেরাতে ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব 6 ইঞ্চি ; কোন মানুষের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন প্রতিকৃতি পর্দায় গঠন করিতে হইলে মানুষ হইতে ক্যামেরা কতদূরে রাখিতে হইবে ?

উঃ। $\frac{\text{বস্তুর আকার}}{\text{প্রতিকৃতির ,,}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{,, \quad ,, পর্দার দূরত্ব}}$; প্রশ্নানুযায়ী প্রতিকৃতির উচ্চতা বস্তুর উচ্চতার অর্ধেক এবং ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব=6 ইঞ্চি। অতএব,

$2=\frac{\text{ছিদ্র হইতে মানুষের দূরত্ব}}{6}$ $\therefore$ ছিদ্র হইতে মানুষের দূরত্ব$=6\times 2$ ইঞ্চি $=1$ ফু.। অর্থাৎ মানুষ ক্যামেরা হইতে 1 ফুট দূরে দাঁড়াইবে।

(2) একটি সূচীছিদ্র ক্যামেরাতে কোন একটি বাড়ীর 1·5 ইঞ্চি উঁচু প্রতিকৃতি সৃষ্টি হইল। সূচীছিদ্র হইতে পর্দা এবং বাড়ীর দূরত্ব যথাক্রমে 2·6 ইঞ্চি এবং 91 ফুট হইলে, বাড়িটির উচ্চতা কত ?

উঃ। $\frac{\text{বস্তুর উচ্চতা}}{\text{প্রতিকৃতির ,,}}=\frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{,, ,, পর্দার দূরত্ব}}$.

এক্ষেত্রে, $\frac{\text{বস্তুর উচ্চতা}}{1\cdot 5/12}=\frac{91}{2\cdot 6/12}$

$\therefore$ বস্তুর উচ্চতা$=\frac{91\times 1\cdot 5}{2\cdot 6}$ ফুট$=52\cdot 5$ ফুট।

(3) একটি সূচীছিদ্র ক্যামেরাকে একটি স্তম্ভ হইতে কিছুদূরে রাখিলে ইহার মধ্যে স্তম্ভের 6 cm. উঁচু বিম্ব গঠিত হইল। স্তম্ভের সহিত একই সরল-রেখায় ক্যামেরাটি আরও 10 metre সরাইলে বিম্বের উচ্চতা হইল 4 cm.; স্তম্ভটির উচ্চতা কত ? ক্যামেরা বাক্সের দৈর্ঘ্য 20 cm.

উঃ। ধরা যাক্, প্রথমে ক্যামেরা বাক্স স্তম্ভ হইতে x cm. দূরে ছিল।

সেক্ষেত্রে, $\frac{\text{স্তম্ভের উচ্চতা } (y)}{\text{প্রতিবিম্বের উচ্চতা}}=\frac{\text{ক্যামেরা হইতে স্তম্ভের দূরত্ব}}{\text{ক্যামেরার দৈর্ঘ্য}}$

অথবা, $\frac{y}{6}=\frac{x}{20}$ .. .. (1)

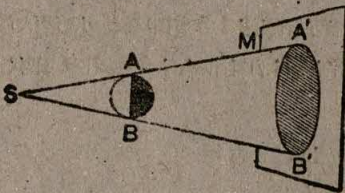
দ্বিতীয় বার, $\frac{y}{4}=\frac{x+1000}{20}=\frac{x}{20}+50=\frac{y}{6}+50$ [(i)নং সমীকরণ হইতে]

অথবা, $\frac{y}{4}-\frac{y}{6}=50$ $\therefore$ $y=600$ cm$=6$ metre.

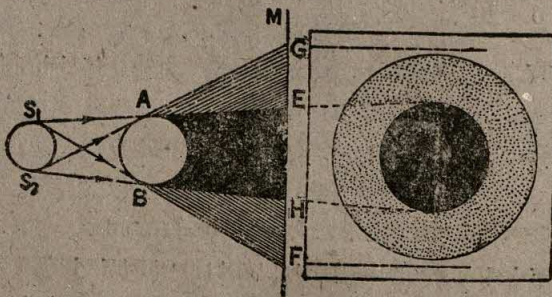
1-5. ছায়ার উৎপত্তি (Formation of shadows) :

অস্বচ্ছ বস্তুর ছায়া হয় তাহা তোমরা জান। আলোর সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ বস্তু ধরিলে দেওয়ালে তাহার ছায়া পড়ে তাহা সকলেই দেখিয়াছ। আলো যে সরলরেখায় চলে ছায়া তাহার প্রকৃষ্ট প্রমাণ। যদি আলো আঁকা-বাঁকা পথে চলিতে পারিত তবে কখনও ছায়ার সৃষ্টি হইত না। আলোকের উৎস ও অস্বচ্ছ বস্তুর আপেক্ষিক আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া ছায়ার আকৃতি ভিন্ন ভিন্ন হইতে পারে। নীচে ইহার আলোচনা করা হইল।

(1) **বিন্দু আলোক প্রভব ও বিস্তৃত অস্বচ্ছ বস্তু** (Point source and

extended object) ঃ S একটি বিন্দু আলোক প্রভব, AB একটি গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু এবং M একটি পর্দা (8 নং চিত্র)। বিন্দু প্রভব S হইতে আলোক-রশ্মি চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িবে ; কিন্তু যে রশ্মিগুলি AB বস্তুর ধার ঘেঁসিয়া যাইবে---যেমন SA, SB প্রভৃতি---উহারা পর্দায় গিয়া পড়িবে। SAB শঙ্কুর (cone) অভ্যন্তরস্থ কোন রশ্মি পর্দায় পৌঁছাইতে পারিবে না---কারণ উহারা AB বস্তু কর্তৃক বাধা পাইবে। অন্যান্য রশ্মি পর্দায় পৌঁছিয়া পর্দাকে আলোকিত করিবে। সুতরাং পর্দার A′B′ অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকার থাকিবে এবং ইহার আকার গোল হইবে। ইহাই হইল AB বস্তুর ছায়া। পর্দা দূরে সরাইয়া লইলে ছায়ার আকার বৃদ্ধি পাইবে।

ছায়ার উৎপত্তি
চিত্র নং 8

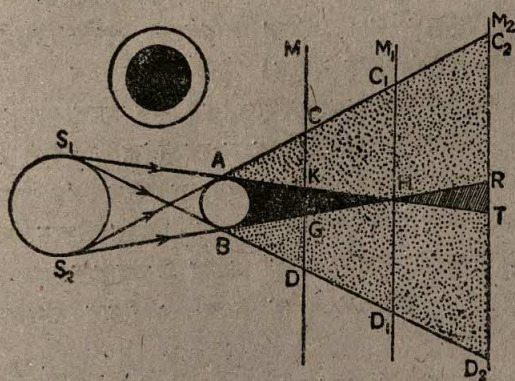
(2) **বিস্তৃত আলোক প্রভব ও আলোক প্রভব হইতে বড় অস্বচ্ছ বস্তু** (Extended source and object greater than the size of the source) ঃ $S_1 S_2$ একটি বিস্তৃত আলোক প্রভব। AB একটি অস্বচ্ছ বস্তু এবং M একটি পর্দা। AB বস্তুর আকার আলোক প্রভব হইতে বড় (9 নং চিত্র)।

বিস্তৃত আলোক প্রভব S_1S_2-কে আমরা বহু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দু আলোক প্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরিতে পারি। মনে কর S_1 এবং S_2 ঐরূপ দুইটি প্রান্ত (extreme) বিন্দু প্রভব।

প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া
চিত্র নং 9

এখন S_1 বিন্দু হইতে নির্গত এবং S_1A ও S_1B রেখাদ্বারা সীমাবদ্ধ আলোক রশ্মিগুলি যে আলোকশঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে এবং পর্দায় পৌঁছাইতে পারিবে না। সুতরাং উহা EF ছায়ার সৃষ্টি করিবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু S_2 হইতে নির্গত ও S_2A এবং S_2B রেখাদ্বারা সীমাবদ্ধ

আলোকরশ্মিগুলি যে-শঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহাও পর্দায় পৌঁছিবে না। ফলে GH ছায়ার সৃষ্টি হইবে এবং তাহা G এবং F-এর মধ্যে অবস্থিত হইবে। সুতরাং পর্দায় AB বস্তুর যে-সাধারণ ছায়া হইবে তাহা G হইতে F পর্যন্ত বিস্তৃত হইবে। কিন্তু এই সাধারণ ছায়ার সর্বত্র অন্ধকারের গাঢ়তা এক নয়। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে EH অংশে S_1 বা S_2 অথবা ইহাদের মধ্যবর্তী কোন বিন্দু হইতে আলো পৌঁছায় না। সুতরাং এই অংশের অন্ধকার সর্বাপেক্ষা গাঢ় হইবে। এই অংশকে প্রচ্ছায়া (umbra) বলে। কিন্তু EG বা HF অংশ তত অন্ধকার নয়---কারণ EG অংশে প্রভবের তলার দিক হইতে কোন আলো পৌঁছায় না, কিন্তু প্রভবের উপরের দিক হইতে আলো পৌঁছাইবে। তেমনি HF অংশে প্রভবের উপর হইতে কোন আলো পৌঁছায় না, কিন্তু তলার দিক হইতে আলো পৌঁছায়। সুতরাং EG এবং FH অংশ আংশিক অন্ধকারে থাকিবে। এই আংশিক অন্ধকারযুক্ত অঞ্চলগুলিকে উপচ্ছায়া (penumbra) বলে। 9নং চিত্রের ডানদিকে ছায়ার সম্পূর্ণ প্রকৃতি দেখানো হইল। উহার মধ্যস্থলে গাঢ় অন্ধকারাচ্ছন্ন গোলাকার প্রচ্ছায়া এবং চতুর্দিকে বেষ্টন করিয়া গোলাকার আংশিক অন্ধকারাচ্ছন্ন উপচ্ছায়া।

প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া লক্ষ্য করিলে বোঝা যায় যে, পর্দা দূরে সরাইলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া উভয়েই আকারে বৃদ্ধি পাইবে।

(3) **বিস্তৃত আলোক প্রভব ও ক্ষুদ্রতর অস্বচ্ছ বস্তু** (Extended source and smaller object) ঃ S_1 ও S_2 একটি বিস্তৃত আলোক প্রভব এবং AB একটি অস্বচ্ছ বস্তু। আলোক প্রভবের সাইজ AB বস্তুর চাইতে বড়। M একটি

চিত্র নং 10

পর্দা (10 নং চিত্র)। পূর্বের ন্যায় বিস্তৃত প্রভবকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দু প্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে। মনে কর S_1 এবং S_2 ঐরূপ দুইটি প্রান্ত বিন্দু-প্রভব।

এখন S_1 বিন্দু প্রভব হইতে নির্গত এবং S_1A ও S_1B সরলরেখা কর্তৃক সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-আলোক-শঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে এবং পর্দায় পৌঁছাইবে না। ফলে পর্দায় KD ছায়ার সৃষ্টি হইবে।

তেমনি S_2A ও S_2B রেখা কর্তৃক সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-আলোক-শঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহাও AB বস্তু দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইবে। সুতরাং তাহারাও পর্দায় পৌঁছাইবে না এবং GC ছায়ার সৃষ্টি করিবে।

S_1 এবং S_2 বিন্দুদ্বয়ের মধ্যবর্তী অন্যান্য আলোকবিন্দু যে-ছায়াগুলির সৃষ্টি করিবে তাহা C এবং D-এর ভিতর অবস্থান করিবে। অর্থাৎ C হইতে D পর্যন্ত AB বস্তুর সাধারণভাবে ছায়া সৃষ্টি হইবে।

এখানে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে KG অংশে আলোক প্রভবের কোন বিন্দু হইতেই আলো পৌঁছাইবে না। সুতরাং KG অংশকে প্রচ্ছায়া বলা যাইতে পারে। আর, KC অথবা GD অংশে আংশিকভাবে আলো পৌঁছায়। সুতরাং উহারা উপচ্ছায়া।

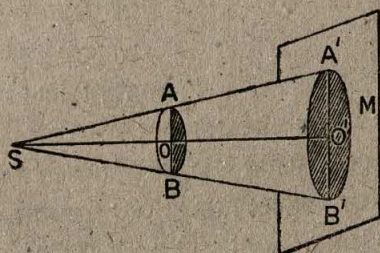
আরও লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে প্রচ্ছায়া অংশ একটি অভিসারী (converging) এবং উপচ্ছায়া অংশ একটি অপসারী (diverging) শঙ্কু তৈয়ারী করে। পর্দা দূরে সরাইয়া লইলে প্রচ্ছায়া অংশ ক্রমশ কমিয়া আসিবে কিন্তু উপচ্ছায়া অংশ ক্রমশ বৃদ্ধি পাইবে।

যদি পর্দাকে M_1 অবস্থানে লইয়া যাওয়া হয় তবে প্রচ্ছায়া একটি বিন্দুতে (H) পরিণত হয়। যদি আরও সরাইয়া M_2 অবস্থানে লইয়া যাওয়া হয় তবে আর প্রচ্ছায়া থাকিবে না। ইহার পরিবর্তে একটি বিপরীত অপসারী (diverging) শঙ্কু HRT সৃষ্টি হইবে। এইরূপ অবস্থায় RT অংশে প্রভবের পরিধির (peripheral) নিকটস্থ অংশ হইতে কিছু কিছু আলো আসিয়া উপচ্ছায়ার সৃষ্টি করিবে। সুতরাং R এবং T-এর মধ্যবর্তী অংশ হইতে প্রভবের দিকে তাকাইলে AB বস্তুকে সম্পূর্ণ অন্ধকারাচ্ছন্ন দেখাইবে কিন্তু তাহার চতুর্দিকে একটি আলোকিত অংশ দেখা যাইবে (10 নং চিত্রের উপরে যেমন দেখানো হইয়াছে)। পর্দা আরও দূরে সরাইয়া লইলে উপচ্ছায়ার অন্ধকারের গাঢ়তা হ্রাস পাইতে থাকে। অবশেষে পর্দায় আলো ও ছায়ার পার্থক্য আর বোঝা যাইবে না।

এই প্রসঙ্গে বলা যাইতে পারে যে গাছের পাতার ছায়া যখন মাটিতে পড়ে তখন প্রচ্ছায়া ও পাতলা উপচ্ছায়া লক্ষিত হয়। এখানে সূর্য আলোক-প্রভব, পাতা অস্বচ্ছ বস্তু ও মাটি পর্দা। পাতা ও মাটির দূরত্ব কম বলিয়া এবং সূর্য বহুদূরে থাকায় প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া দুই-ই দেখা যায়। তেমনি যখন এরোপ্লেন

নীচু দিয়া উড়িয়া যায় তখন মাটিতে উহার ছায়া পড়ে কিন্তু ক্রমশ উচ্চে উঠিলে (অর্থাৎ পর্দা হইতে বস্তুর দূরত্ব বাড়িতে থাকিলে) ছায়া পাতলা হইয়া অবশেষে অদৃশ্য হইয়া যায়।

উদাহরণ ঃ একটি বিন্দু প্রভব হইতে 1 ft. দূরে 4 ইঞ্চি ব্যাসযুক্ত একটি গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু রাখা আছে। বস্তুটির কেন্দ্র হইতে 1 ft. দূরে একখানি পর্দা আছে। পর্দার উপরে যে-ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহার ব্যাস কত?

উঃ। মনে কর, S-বিন্দুপ্রভব; AB বস্তু এবং M পর্দার উপর AB বস্তুর ছায়া [চিত্র 10(i)]। এখন SO=1 ft. এবং OO′=1 ft. ∴ SO′=2 ft.; AB=4 inches.

চিত্র নং 10(i)

আমরা লিখিতে পারি, $\frac{AB}{A'B'}=\frac{SO}{SO'}$ অথবা, $\frac{4}{A'B'}=\frac{1\times12}{2\times12}$

$\therefore\ A'B'=8$ inches.

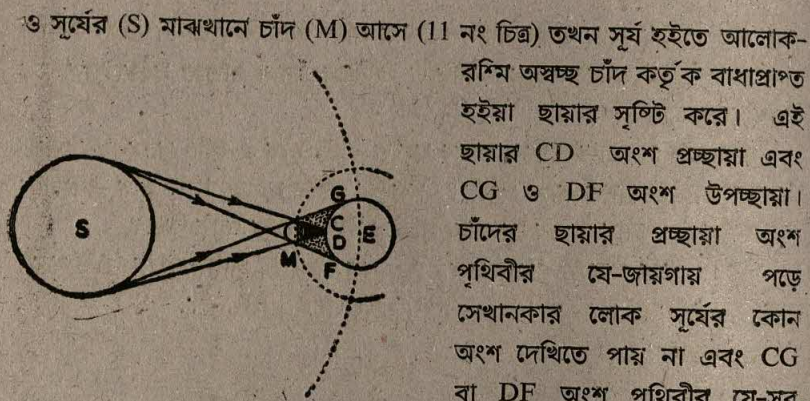
অর্থাৎ ছায়ার ব্যাস=8 ইঞ্চি।

1-6. গ্রহণ (Eclipses) ঃ

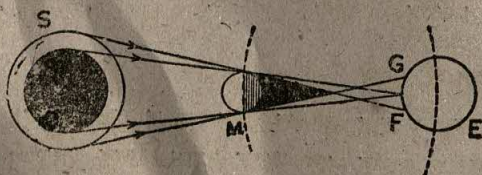
অস্বচ্ছ বস্তু কর্তৃক ছায়া সৃষ্টির ফলে সূর্য বা চন্দ্রগ্রহণ হয়। অমাবস্যায় যখন চাঁদ পৃথিবী ও সূর্যের মধ্যে আসে তখন চাঁদের ছায়া পৃথিবীতে পড়িয়া সূর্যগ্রহণ হয়। আবার পূর্ণিমায় যখন চাঁদ ও সূর্যের মাঝখানে পৃথিবী আসে তখন পৃথিবীর ছায়ার ভিতর চাঁদ প্রবেশ করিলে চন্দ্রগ্রহণ হয়। কাজেই সূর্যগ্রহণের বেলাতে চাঁদ অস্বচ্ছ বস্তু এবং চন্দ্রগ্রহণের বেলাতে পৃথিবী অস্বচ্ছ বস্তুর কাজ করে। দুই গ্রহণ কি করিয়া সংঘটিত হয় নিম্নে তাহার আলোচনা করা হইল ঃ

সূর্যগ্রহণ ঃ সূর্যগ্রহণ তিন রকমের হইতে পারে। যথা ঃ—(1) পূর্ণগ্রহণ, (2) খণ্ড গ্রহণ ও (3) বলয় গ্রহণ।

নিজেদের কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে অমাবস্যায় যখন পৃথিবী (E)

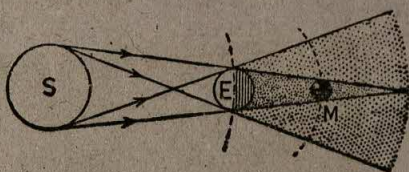
ও সূর্যের (S) মাঝখানে চাঁদ (M) আসে (11 নং চিত্র) তখন সূর্য হইতে আলোক-রশ্মি অস্বচ্ছ চাঁদ কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইয়া ছায়ার সৃষ্টি করে। এই ছায়ার CD অংশ প্রচ্ছায়া এবং CG ও DF অংশ উপচ্ছায়া। চাঁদের ছায়ার প্রচ্ছায়া অংশ পৃথিবীর যে-জায়গায় পড়ে সেখানকার লোক সূর্যের কোন অংশ দেখিতে পায় না এবং CG বা DF অংশ পৃথিবীর যে-সব জায়গায় পড়ে সেখানকার লোক সূর্যের কিছু অংশ দেখিতে পায়।

সূর্যগ্রহণ
চিত্র নং 11

CG অংশের লোক সূর্যের উপরিভাগ দেখিবে এবং DE অংশের লোক সূর্যের নিম্নভাগ দেখিবে। সুতরাং CD অঞ্চলের লোকের নিকট সূর্যের পূর্ণগ্রহণ ও CG বা DF অঞ্চলের লোকের নিকট সূর্যের খণ্ডগ্রহণ হইবে। চাঁদ পৃথিবী অপেক্ষা অনেক ছোট বলিয়া চাঁদের ছায়াও খুব ছোট। এই কারণে পৃথিবীর খুব কম অংশ চাঁদের প্রচ্ছায়ার মধ্যে পড়ে এবং পৃথিবীর খুব অল্প জায়গা হইতে সূর্যের পূর্ণগ্রহণ দেখা যায়।

পৃথিবী আকারে চাঁদ অপেক্ষা অনেক বড় হওয়ায় এবং সময়-ভেদে উহাদের দূরত্বের তারতম্য হওয়ায় অনেক সময় এমন হয় যে চাঁদের প্রচ্ছায়া পৃথিবীকে

সূর্যের বলয় গ্রহণ
চিত্র নং 12

স্পর্শ করিবার পূর্বেই শেষ হইয়া যায়। তৎপরিবর্তে উহাকে বাড়াইয়া যে বিপরীত অপসারী শঙ্কু হয় তাহা পৃথিবীকে স্পর্শ করে। 12 নং চিত্রে পৃথিবীর GF অঞ্চলে ঐ শঙ্কু স্পর্শ করিয়াছে। সুতরাং পৃথিবীর ঐ স্থানে অবস্থিত লোকেরা সূর্যের দিকে তাকাইলে সূর্যের মাঝখানে একটি অন্ধকারাবৃত বৃত্তাকার অংশ ও উহার চতুর্দিকে আলোকিত অংশ দেখিতে পাইবে। এই ধরনের গ্রহণকে **বলয়** গ্রাস বা **বলয় গ্রহণ** বলে।

চন্দ্রগ্রহণ ঃ আমরা জানি যে চন্দ্রের নিজস্ব কোন আলো নাই। সূর্য হইতে আলো চন্দ্র কর্তৃক প্রতিফলিত হয় বলিয়া চন্দ্রকে উজ্জ্বল দেখায়। পূর্ণিমায় চন্দ্র ও সূর্যের মাঝখানে পৃথিবী অবস্থিত হয়।

নিজ নিজ কক্ষে পরিভ্রমণ করিতে করিতে পূর্ণিমায় যখন চাঁদ (M) ও সূর্যের (S) মাঝখানে পৃথিবী (E) আসিয়া পড়ে তখন পৃথিবীর ছায়া চন্দ্রের উপর গিয়া পড়ে (13 নং চিত্র)। যখন চাঁদ পৃথিবীর প্রচ্ছায়া কর্তৃক সম্পূর্ণ আবৃত হয় তখন উহা আর দৃষ্টির গোচর থাকে না। তখন চন্দ্রের পূর্ণগ্রহণ হয়। আর যদি চন্দ্রের কিছু অংশ প্রচ্ছায়া কর্তৃক এবং কিছু অংশ উপচ্ছায়া কর্তৃক আবৃত হয় তবে চন্দ্রের খণ্ডগ্রাস হয়। পৃথিবীর আকার চন্দ্র অপেক্ষা বহুগুণ বড় হওয়ায় পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু সর্বদা চন্দ্রের কক্ষপথ ছাড়াইয়া যায়। সুতরাং চন্দ্রের বলয় গ্রাস কখনও সম্ভব নয়।

চন্দ্রগ্রহণ চিত্র নং 13

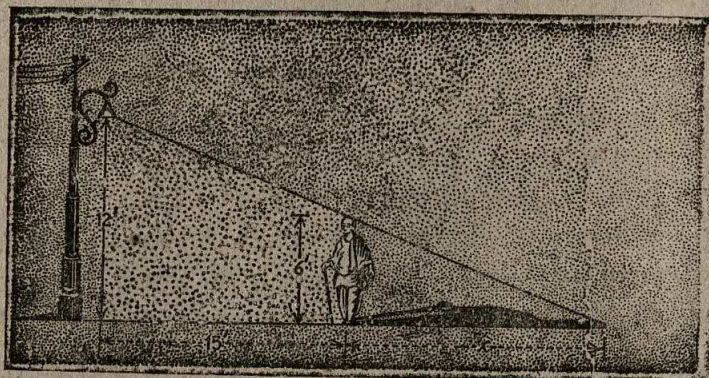
পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার ভিতর সম্পূর্ণ প্রবেশের পূর্বে চন্দ্রকে পৃথিবীর উপচ্ছায়ার ভিতর প্রবেশ করিতে হয়। উপচ্ছায়া অংশে সূর্য হইতে কম আলো পৌঁছায়। এই কারণে চন্দ্রগ্রহণ শুরু হইবার কিছু পূর্ব হইতে চাঁদকে কিছু ম্লান দেখায়। একই কারণে গ্রহণ সম্পূর্ণ ছাড়িবার পরও চাঁদকে কিছুক্ষণ নিষ্প্রভ দেখায় কারণ প্রচ্ছায়া হইতে বাহির হইয়া চাঁদ পুনরায় উপচ্ছায়ায় প্রবেশ করে।

সব অমাবস্যায় বা পূর্ণিমায় গ্রহণ হয় না কেন ?

গ্রহণ আলোচনার সময় বলা হইয়াছে যে অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ ও পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ হয়। কিন্তু প্রত্যেক অমাবস্যা এবং প্রত্যেক পূর্ণিমাতে ত' গ্রহণ হয় না। ইহার কারণ কি ?

গ্রহণ—চন্দ্রের অথবা সূর্যের হউক—হইতে গেলে সূর্য, চন্দ্র ও পৃথিবী এক সরলরেখায় আসিতে হইবে। কিন্তু পৃথিবীর পরিভ্রমণের কক্ষতল (plane of orbit) এবং চন্দ্রের পরিভ্রমণের কক্ষতল এক নহে। এই দুই তলের মধ্যে প্রায় 5° ডিগ্রী ব্যবধান আছে। ইহার ফলে প্রত্যেক পূর্ণিমাতে চাঁদ পৃথিবীর ছায়ার ভিতর যায় না—হয় উপরে কিংবা নীচে অবস্থান করে। সুতরাং গ্রহণ হয় না। তেমনি প্রত্যেক অমাবস্যাতেও চাঁদের ছায়া পৃথিবীর উপরে পড়িতে পারে না। যে-পূর্ণিমা বা অমাবস্যাতে ইহারা এক সরলরেখায় আসিবে—তখনই গ্রহণ হইবে।

উদাহরণ ঃ 14 নং চিত্রে রাস্তার আলো দ্বারা কোন পথচারীর ছায়া দেখানো হইয়াছে। যদি রাস্তা হইতে আলোর উচ্চতা 12 ft. মানুষটির উচ্চতা 6 ft. এবং আলো হইতে মানুষটির দূরত্ব 15 ft. হয়, তবে পথচারার ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

উঃ। ছায়ার দৈর্ঘ্য x ধরিলে আমরা লিখিতে পারি,

চিত্র নং 14

$$\frac{\text{আলোর উচ্চতা}}{\text{মানুষের ,,}} = \frac{\text{ছায়ার শীর্ষবিন্দু হইতে আলোর দূরত্ব}}{\text{,, ,, ,, মানুষের ,,}}$$

অথবা, $\frac{12}{6} = \frac{15+x}{x}$

,, $2x = 15 + x$

,, $x = 15$ ft.

অর্থাৎ পথচারীর ছায়ার দৈর্ঘ্য হইবে 15 ft.

1-7. আলোকের গতিবেগ ও আলোক-বর্ষ (Velocity of light and light year) ঃ

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে আলো প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 1,86,000 মাইল গতিবেগ লইয়া চলে। এই গতিবেগ নির্ণয়ের প্রথম পরীক্ষা করেন ডেনমার্কের জ্যোতির্বিজ্ঞানী রোমার। পরে, ফিজু, মাইকেলসন্ অ্যাণ্ডারসন এবং আরও অনেক বিজ্ঞানী এই সম্বন্ধে পরীক্ষা করিয়াছেন।

বিরাট মহাকাশে যে অসংখ্য নক্ষত্ররাজি আছে, তাহাদের পারস্পরিক দূরত্ব এত বেশী যে মাইল বা কিলোমিটারে প্রকাশ করিলে উহা বিরাট সংখ্যায় দাঁড়াইবে। এই সুবিশাল দূরত্বসমূহকে প্রকাশ করিবার জন্য জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা 'আলোক-বর্ষ'কে দূরত্বের একক হিসাবে ব্যবহার করেন।

সংজ্ঞা ঃ প্রতি সেকেণ্ডে 1,86,000 মাইল গতিবেগ লইয়া আলো এক বৎসর সময়ে যে-দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে এক আলোক-বর্ষ ধরা হয়। সুতরাং,

1 আলোক-বর্ষ $=1{,}86{,}000\times365\times24\times60\times60$ মাইল

$=5{\cdot}86\times10^{12}$ মাইল (প্রায়)

অথবা, 1 আলোক-বর্ষ $=3{,}00{,}000\times365\times24\times60\times60$ কিলোমিটার

$=9{\cdot}45\times10^{12}$ কিলোমিটার (প্রায়)।

প্রশ্নাবলী

1. উপযুক্ত পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও যে আলো সরলরেখায় চলাচল করে।

2. সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। সূচী-ছিদ্রের আকার বড় করিলে কি হয়? ছিদ্র হইতে ঘষা-কাচের দূরত্ব বৃদ্ধি করিলে কি হয়? [*M. Exam., 1984, '87*]

3. একটি নক্শার সাহায্যে সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। ছিদ্রের আকার বৃদ্ধি করিলে কি হয়? [*H. S. Exam., 1960*]

4. একটি অন্ধকার ঘরে বাক্সের ভিতর একটি জ্বলন্ত মোমবাতি রাখা আছে। বাক্সের যে-কোন গায়ে একটি ছোট ছিদ্র করা হইল এবং ছিদ্র হইতে কিছু দূরে একখানি সাদা কাগজ ধরা হইল। কাগজের উপর কি দেখা যাইবে তাহা বর্ণনা কর ও উহার উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা কর।

5. ছায়ার সৃষ্টি কিরূপে হয়? একটি বিস্তৃত আলোক প্রভব হইতে আলোকরশ্মি নির্গত হইয়া একটি বিস্তৃত অস্বচ্ছ বস্তু দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইলে কিরূপে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার সৃষ্টি হয় তাহা নক্সা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

6. প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার ভিতর পার্থক্য কি? পাখি যখন নীচু দিয়া উড়ে তখন উহার ছায়া মাটিতে পড়ে কিন্তু উপরে উঠিলে আর ছায়া দেখা যায় না। কেন?

7. গ্রহণ কাহাকে বলে? সুন্দর চিত্র আঁকিয়া চন্দ্রের গ্রহণ ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam., 1983, '88*]

8. সূর্যের পূর্ণগ্রাস গ্রহণ কিভাবে হয় বুঝাইয়া বল। [*M. Exam., 1980, '85*]

9. প্রতি অমাবস্যা এবং পূর্ণিমাতে গ্রহণ হয় না কেন? [*M. Exam., 1980*]

10. বলয় গ্রহণ কি? ইহা সূর্যের হয়, না চন্দ্রের হয়? ইহা কিরূপে হয়?

11. ঘরের একটি জানালার ক্ষুদ্র ত্রিভুজাকৃতি ছিদ্র দিয়া অনুভূমিকভাবে সূর্যালোক প্রবেশ করিয়া বিপরীত দেওয়ালে পড়িল। দেওয়ালে কিরূপ প্রতিকৃতি দেখা যাইবে?

12. চন্দ্রগ্রহণ সম্পর্কে নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও ঃ

(ক) কখন চন্দ্রের পূর্ণ গ্রহণ হয়? (খ) কখন চন্দ্রের খণ্ড গ্রহণ হয়? (গ) গ্রহণ আরম্ভ হইবার পূর্বে এবং শেষ হইবার পরে কিছুক্ষণের জন্য চাঁদকে নিষ্প্রভ দেখায় কেন? (ঘ) সকল পূর্ণিমাতে চন্দ্রগ্রহণ দেখা যায় না কেন? (ঙ) চন্দ্রের বলয় গ্রহণ হয় না কেন?

Objective type :

13. তিনটি বিকল্প হইতে উপযুক্ত বিকল্প বাছিয়া লইয়া নিম্নের অসম্পূর্ণ উক্তিগুলি সম্পূর্ণ কর :

(a) আলোক বর্ষ—(i) সময়ের একক (ii) দূরত্বের একক (iii) কোন এককই নয়।

(b) সূচীছিদ্র ক্যামেরাতে যে প্রতিকৃতি গঠিত হয় তাহা—(i) উল্টানো (ii) সোজা (iii) খর্বাকৃতি।

(c) সূচীছিদ্র ক্যামেরার ছিদ্রের আকার বৃদ্ধি করিলে, প্রতিকৃতি—(i) খুব তীক্ষ্ণ হয় (ii) আব্ছা হয় (iii) আকারে বৃদ্ধি পায়।

(d) সূর্যগ্রহণ হয় যখন চাঁদ—(i) সূর্য পৃথিবীর যে-দিকে তাহার বিপরীত দিকে থাকে (ii) পৃথিবী সূর্যের যে-দিকে তাহার বিপরীতদিকে থাকে (iii) সূর্য ও পৃথিবীর মাঝে থাকে।

(e) ত্রিভূজাকৃতি সূচীছিদ্র দিয়া সূর্যালোক প্রবেশ করিলে পর্দায় যে প্রতিকৃতি পাওয়া যায় তাহা—(i) ত্রিভূজাকৃতি (ii) গোলাকার (iii) কোনটাই নয়।

অঙ্ক :

14. $5\frac{1}{2}$ ফুট উচ্চতার জনৈক ব্যক্তি রাস্তার আলোকদণ্ড হইতে 5 ফুট দূরে দাঁড়াইয়া আছে। আলোকটি রাস্তা হইতে 9 ফুট উঁচু। ব্যক্তিটির ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[*H. S. Exam., 1960*] [Ans. 7·8 ft.]

15. 2 metres উঁচু একটি খাড়া বস্তু একটি খাড়া আলোকদণ্ড হইতে 2·5 metres দূরে আছে। বাতির উজ্জ্বল ফিলামেন্ট ভূমি হইতে 4 metres উঁচুতে আছে। ভূমিতে স্তম্ভের যে ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [Ans. 2·5 metres]

16. 10 ফুট × 10 ফুট একটি অন্ধকার ঘরের সাদা দেওয়ালের মাঝখানে একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে। ছিদ্র হইতে কিছু দূরে 55 ft. উঁচু একটি গাছ আছে। ছিদ্রের বিপরীত দিকের দেওয়ালে গাছের 11 ইঞ্চি উঁচু একটি প্রতিকৃতি দেখিতে পাওয়া গেল। ছিদ্র হইতে গাছের দূরত্ব কত? [Ans. 600 ft.].

17. একটি সূচীছিদ্র ক্যামেরার ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব 8 ইঞ্চি এবং পর্দার উচ্চতা 6 ইঞ্চি। 200 ফুট উঁচু একটি গাছের পূর্ণ প্রতিকৃতি পর্দায় গঠন করিতে হইলে, গাছ হইতে ক্যামেরা কত দূরে রাখিতে হইবে? [Ans. 266·6 ft.]

18. 5 মিটার প্রশস্ত একটি ঘরের জানালায় একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে এবং বিপরীত দেওয়ালে ঘরের বাহিরে অবস্থিত একটি দণ্ডের প্রতিকৃতি গঠিত হইল। প্রতিকৃতির উচ্চতা 2 মিটার এবং জানালা হইতে দণ্ডের দূরত্ব 15 metre হইলে, দণ্ডের উচ্চতা কত? [Ans. 6 metres]

19. 4 ইঞ্চি ব্যাসযুক্ত একটি গোলাকার আলোক উৎসকে 2 ইঞ্চি ব্যাসযুক্ত একটি গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু হইতে 3 ft. দূরে বসানো হইল। বস্তু হইতে ন্যূনতম কত দূরত্বে একখানি পর্দা বসাইলে পর্দাতে প্রচ্ছায়াবিহীন ছায়া গঠিত হইবে? [Ans. 3 ft.]

20. একটি অন্ধকার ঘরে 4 ইঞ্চি ব্যাসের একটি কাচের কুণ্ডের ভিতর একটি বৈদ্যুতিক বাতি রাখা আছে। উহা হইতে 6 ইঞ্চি দূরে একটি ধাতব বল আছে। বলটির ব্যাস 2 ইঞ্চি। বলটির প্রচ্ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [Ans. 6 inches]

আলোকের প্রতিফলন

[Reflection of light]

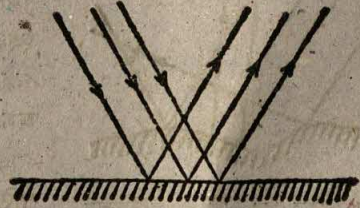
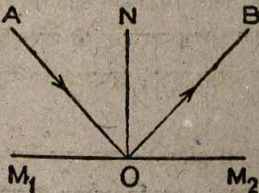
2-1. আলোকের প্রতিফলন (Reflection of light) **:**

আমরা দেখিয়াছি যে, সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলো সরলরেখায় গমন করে। কিন্তু আলো যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হয় তখন ঐ আলোর কিছু অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের তল (surface) হইতে পুনরায় সরলরেখায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে আলোর **প্রতিফলন** বলে। দর্পণ দ্বারা আলোর প্রতিফলন তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। কাচের জানালার উপর সূর্যের আলো আসিয়া পড়িলে আলো প্রতিফলিত হয়, তাহা তোমরা জান। সুতরাং আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতায় আলোর প্রতিফলন সর্বদাই দেখিতে পাই।

প্রতিফলক তল অনুযায়ী আলোর প্রতিফলন দুই প্রকার হইতে পারে। যথা :—(1) **নিয়মিত** (regular) **প্রতিফলন** (2) **বিক্ষিপ্ত** (diffuse) **প্রতিফলন।**

2-2. নিয়মিত প্রতিফলন (Regular reflection) **:**

যদি প্রতিফলকের তল মসৃণ হয় তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি একটি নির্দিষ্ট দিকে যাইবে এবং আপতিত রশ্মিগুচ্ছের সহিত প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছের মিল থাকিবে। 15 নং চিত্রে একটি মসৃণ তলে একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি আপতিত হইয়াছে। উহাদের প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছও সমান্তরাল। এই ধরনের প্রতিফলনকে নিয়মিত প্রতিফলন বলে।

আলোকরশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন চিত্র নং 15

16 নং চিত্রে একটি রশ্মি লইয়া নিয়মিত প্রতিফলন দেখানো হইয়াছে। OA রশ্মি M_1M_2 প্রতিফলক দ্বারা OB রশ্মিতে প্রতিফলিত হইয়াছে। এখানে OA রশ্মিকে **আপতিত** (incident) **রশ্মি** বলা হয় এবং OB-কে বলা হয় **প্রতিফলিত** (reflected) **রশ্মি।** যে-বিন্দুতে আপতিত রশ্মি প্রতিফলকের উপর পড়ে (অর্থাৎ O বিন্দু), তাহাকে বলা হয় **আপতন বিন্দু** (point of incidence)। আপতন বিন্দু দিয়া প্রতিফলকের উপর যদি লম্ব টানা যায় (ছবিতে ON) তবে উহাকে **অভিলম্ব** (normal) বলা হয়।

চিত্র নং 16

আপতিত রশ্মি অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (∠AON) ইহাকে **আপতন কোণ** (angle of incidence) এবং প্রতিফলিত রশ্মি ঐ অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (∠BON) উহাকে **প্রতিফলিত কোণ** (angle of reflection) বলে।

2-3. নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্র (Laws of regular reflection) ঃ

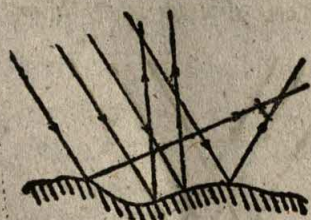
নিয়মিত প্রতিফলন নিম্নলিখিত দুইটি সূত্রানুযায়ী হইয়া থাকে ঃ

(1) **আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতন বিন্দু দিয়া প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।**

(2) **আপতন কোণ সর্বদা প্রতিফলিত কোণের সমান হইবে** অথবা

$$\angle AON = \angle BON.$$

2-4. বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (Diffuse reflection) ঃ

যদি প্রতিফলকের তল অমসৃণ হয়, তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে এবং আপতিত রশ্মিগুচ্ছের সহিত প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছের কোন মিল থাকে না; 17 নং চিত্রে একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি একটি অমসৃণ তলে আপতিত হইয়াছে। প্রত্যেকটি আলাদা রশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন হইবে কিন্তু যেহেতু তল অমসৃণ সেই হেতু তলের বিভিন্ন বিন্দুতে অভিলম্ব বিভিন্ন দিকে হইবে। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চারিদিকে বিক্ষিপ্ত হইবে এবং আপতিত রশ্মির সহিত কোন মিল থাকিবে না। ইহাকে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন বলা হয়।

আলোকরশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন
চিত্র নং 17

ঘষা-কাচ, সাদা কাগজ, ঘরের দেওয়াল ইত্যাদি অমসৃণ বলিয়া বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন সৃষ্টি করে। ইহার ফলে এই বস্তুগুলি যেদিক হইতে দেখা যাক না কেন সর্বত্র সমান উজ্জ্বল দেখাইবে। কিন্তু সমতল দর্পণ নিয়মিত প্রতিফলন সৃষ্টি করে বলিয়া দর্পণের যে-অংশ প্রতিফলনের অংশ গ্রহণ করে সেই অংশই চক্‌চকে দেখায়। এই কারণে সিনেমার পর্দা অমসৃণ করা হয়; অমসৃণ পর্দায় প্রতিফলিত ছবি সর্বদিক হইতে উজ্জ্বল দেখাইবে।

কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় ঃ (i) ঘষা-কাচ (ground glass) স্বচ্ছ নয় কিন্তু জলে ভিজাইলে উহা প্রায় স্বচ্ছ হয়। ইহার কারণ, কাচ ঘষা হওয়াতে উহার তল অমসৃণ এবং উহার উপর আলোকরশ্মি পড়িলে রশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন হয়। তাই উহাকে অস্বচ্ছ দেখায় কিন্তু উহাকে জলে ভিজাইলে উহার দুই পৃষ্ঠে

একটি সূক্ষ্ম জলের স্তর পড়ে। ইহাতে অমসৃণ তল কিছুটা মসৃণ হয় ও আলোক-রশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন হয়। তখন উহাকে প্রায় স্বচ্ছ দেখায়।

(ii) কোন কৃষ্ণবর্ণ তলের উপর আলো পড়িলে আলোর বিশেষ কোন অংশই ঐ তল কর্তৃক প্রতিফলিত হইবে না বা ঐ তল ভেদ করিয়া যাইবে না। ঐ ধরনের তল আপতিত আলো-কে প্রায় সম্পূর্ণ শোষণ করিয়া লয়। এই কারণে ক্যামেরা, দূরবীণ প্রভৃতি আলোকীয় যন্ত্রের অভ্যন্তর কৃষ্ণবর্ণ করা থাকে যাহাতে ঐ সকল যন্ত্রের অভ্যন্তরে আলোর কোন অবাঞ্ছিত প্রতিফলন না হইতে পারে। ঠিক বিপরীত ঘটনা ঘটে সাদা তলের (white surface) ক্ষেত্রে। সাদা তল কোন আলোই শোষণ করে না। তাই সিনেমার পর্দা সাদা রংয়ের করা হয়। ইহাতে আলোর শোষণ হইতে পারে না এবং প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা বৃদ্ধি পায়। তাছাড়া, সাদা পশ্চাৎপটে কালো ছবি ভাল ফুটিয়া ওঠে বলিয়াও সিনেমার পর্দা সাদা করা হয়।

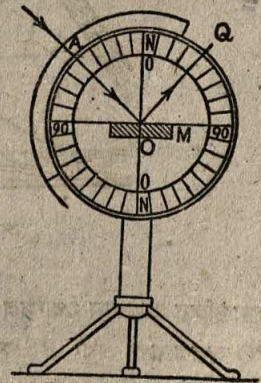
(iii) সূর্যোদয় এবং সূর্যাস্তের সময় পূর্বাকাশ এবং পশ্চিমাকাশ রক্তিম বর্ণ ধারণ করে। ইহাকে যথাক্রমে উষা (down) ও গোধূলি (twilight) বলা হয়। আকাশে ভাসমান অসংখ্য ধূলিকণা ও জল কর্তৃক সূর্যরশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের জন্য ঐরূপ রং দেখা যায়।

2-5. প্রতিফলন সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental verification of laws of reflection) ঃ

প্রতিফলন সূত্র পরীক্ষামূলকভাবে দুই উপায়ে প্রমাণ করা যায়।

(1) হার্টল-এর আলোকচক্র (Hartle's optical disc) দ্বারা ও (2) পিন দ্বারা।

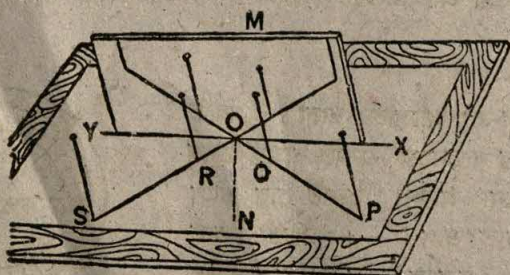
পরীক্ষা ঃ

(1) **হার্টল-এর আলোচক্র দ্বারা ঃ** একটি পাতলা গোলাকার ধাতবচক্র একটি দণ্ডের উপর খাড়াভাবে বসানো আছে। চক্রটি চার ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগ 0°—90° ডিগ্রী স্কেলে দাগ কাটা আছে। চক্রকে উহার কেন্দ্রগত একটি অনুভূমিক অক্ষের (horizontal axis) চতুর্দিকে লম্বতলে (vertical plane) ঘুরানো যায়। চক্রের চতুর্দিকে একটি ধাতব পর্দা আছে এবং উহার গায়ে একটি সরু ছিদ্র A আছে। এই ছিদ্র দিয়া আলোকরশ্মি প্রবেশ করে ও চক্রের তলে তলে আপতিত হয়। 90°—90° রেখার সহিত

হার্টল-এর আলোচক্র চিত্র নং 18

মিলাইয়া একটি পাতলা সমতল দর্পণ (plane mirror) M লাগানো থাকে। সুতরাং 0°—0° রেখা দর্পণের মধ্যস্থল দিয়া দর্পণের উপর অভিলম্ব হইবে (18 নং চিত্র)।

A ছিদ্র দিয়া AO আলোকরশ্মি চক্রের গা বাহিয়া দর্পণের মধ্যস্থলে আপতিত হইলে OQ রেখায় প্রতিফলিত হইবে। দেখা যাইবে, প্রতিফলিত রশ্মিও চক্রের গা বাহিয়া যাইতেছে। সুতরাং আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্ব চক্রের তলে অবস্থিত বলিয়া প্রথম সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইল।

আপতন ও প্রতিফলন কোণ চক্রের স্কেল হইতে সোজাসুজি পাওয়া যাইবে। দেখা যাইবে, ইহারা সমান। চক্রটি সামান্য ঘুরাইলে আপতিত রশ্মি নতুন আপতন কোণ সৃষ্টি করিবে এবং সঙ্গে সঙ্গে প্রতিফলন কোণ পরিবর্তিত হইবে। এই অবস্থায় ইহারা পুনরায় সমান হইবে। সুতরাং ইহা দ্বারা দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

(2) **পিন দ্বারা ঃ** একটি সমতল বোর্ডে একখানি সাদা কাগজ পিন দ্বারা আটকাও ও পেন্সিল দিয়া XY একটি রেখা টান। একটি পাতলা সমতল দর্পণ M-কে খাড়াভাবে XY রেখার সহিত মিলাইয়া আটকাও। এইবার P ও Q দুইটি পিন এমনভাবে আঁট যেন উহাদের পাদদ্বয় যোগ করিলে PQ সরলরেখা দর্পণকে আনতভাবে (obliquely) O বিন্দুতে স্পর্শ করে। দর্পণের ভিতর দিয়া দেখিলে P ও Q-এর প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। বাঁ দিক হইতে তাকাইয়া প্রতিবিম্ব দুইটি এক সরলরেখায় থাকে এমনভাবে চোখ রাখিয়া R ও S দুইটি পিন আঁট যেন উহারা P ও Q-র প্রতিবিম্বের সহিত একই সরলরেখায় থাকে (19 নং চিত্র)।

পিন দ্বারা প্রতিফলনের সূত্র প্রমাণ

চিত্র নং 19

পিনগুলির অবস্থান পেন্সিল দ্বারা চিহ্নিত কর। এইবার দর্পণ ও পিন সরাইয়া PQ সরলরেখা এবং RS সরলরেখা বর্ধিত করিলে উহারা XY রেখার সহিত O বিন্দুতে মিলিত হইবে।

এস্থলে PQ আপতিত রশ্মি ও RS প্রতিফলিত রশ্মি। O বিন্দু হইতে

XY রেখার উপর ON লম্ব টানিলে উহা দর্পণের উপর আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব হইবে। উহারা সকলেই কাগজের তলে অবস্থিত বলিয়া প্রথমে সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইতেছে।

দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণ করিতে হইলে ∠PON ও ∠SON মাপ। ইহারা যথাক্রমে আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ। দেখিবে এই কোণ দুইটি সমান, অর্থাৎ আপতন কোণ=প্রতিফলন কোণ।

2-6. আলোকরশ্মির প্রত্যাগমন (Reversibility of a ray of light) :

16 নং চিত্র হইতে আমরা জানিতে পারি, AO যদি আপতিত রশ্মি হয় এবং OB যদি তাহার প্রতিফলিত রশ্মি হয়, তবে ∠AON=∠BON. এখন যদি কোন রশ্মি BO রেখায় M_1M_2 দর্পণের উপর আপতিত হয় তবে আপতন কোণ =∠BON.

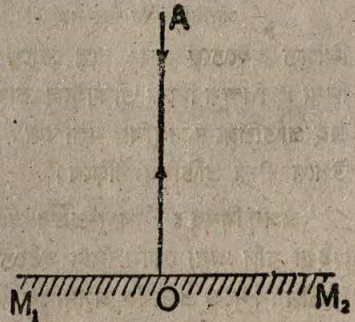
সুতরাং প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী ∠AON-কে প্রতিফলন কোণ হইতে হইবে অর্থাৎ রশ্মিকে OA রেখায় প্রতিফলিত হইতে হইবে।

ইহার অর্থ এই যে, কোন রশ্মি যদি প্রতিফলিত হইয়া A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে পৌঁছায়, তবে রশ্মি উল্টাপথে প্রতিফলিত হইয়া B বিন্দু হইতে A বিন্দুতে পৌঁছাইবে। ইহাকে আলোকরশ্মির প্রত্যাগমন বলে।

2-7. রশ্মির অভিলম্ব আপতন (Normal incidence of a ray) :

ধরা যাউক, কোন রশ্মি M_1M_2 দর্পণের উপর লম্বভাবে AO সরলরেখায় আপতিত হইল। এস্থলে আপতন কোণের মান শূন্য ; অতএব প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী প্রতিফলন কোণের মান শূন্য। কাজেই প্রতিফলিত রশ্মি OA পথে প্রত্যাগমন করিবে (20 নং চিত্র)।

রশ্মির অভিলম্ব আপতন
চিত্র নং 20

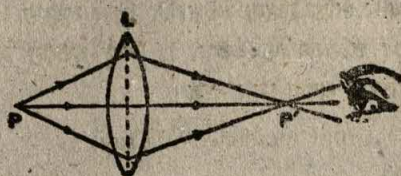
সুতরাং মনে রাখিবে, কোন রশ্মি যদি দর্পণের উপর অভিলম্বভাবে আপতিত হয় তবে পুনরায় অভিলম্বভাবে ঐ পথে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া যাইবে।

2-8. প্রতিবিম্ব ও উহার সংজ্ঞা (Image and its definition) :

প্রতিবিম্ব তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। দর্পণের সম্মুখে দাঁড়াইলে আমরা আমাদের আকৃতির প্রতিবিম্ব দেখি। পুকুরের পাড়ে গাছ থাকিলে জলে উহার প্রতিবিম্ব দেখা যায়। এই প্রতিবিম্বের উৎপত্তি কিরূপে হয় ?

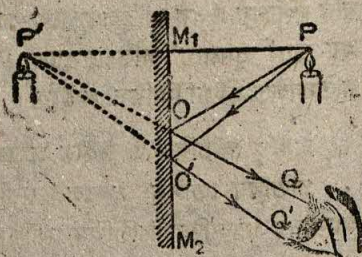
সাধারণত বস্তু হইতে আলোকরশ্মি যখন সোজাসুজি আমাদের চোখে আসে

তখন আমরা বস্তুকে দেখি। কিন্তু যখন আলোকরশ্মি প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত (refracted) হইয়া বাঁকিয়া আমাদের চোখে আসে তখন মনে হয় বস্তু অন্য জায়গায় আছে। চোখে যে-রশ্মিগুলি পৌঁছায় তাহাদের পশ্চাতে বর্ধিত করিলে তাহারা যে বিন্দুতে ছেদ করে, বস্তু সেখানে আছে বলিয়া মনে হয়। প্রকৃত-পক্ষে বস্তুর কোন স্থান-পরিবর্তন হয় না। এই যে নতুন জায়গায় বস্তু আছে বলিয়া মনে হয়, তাহাকে বস্তুর প্রতিবিম্ব বলে।

সুতরাং যখন কোন বিন্দু প্রভব (point source) **হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া অন্য কোন বিন্দুতে মিলিত হয় বা অন্য কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তখন ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দু-প্রভবের প্রতিবিম্ব বলা হয়।**

প্রতিবিম্ব দুই প্রকারের হইতে পারে। যথা ঃ—(1) সদ্‌বিম্ব (real image) ও (2) অসদ্‌বিম্ব (virtual image)।

সদ্‌বিম্ব ঃ বিন্দু প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যদি অন্য কোন বিন্দুতে মিলিত হয় তবে ঐ বিন্দুকে প্রভবের সদ্‌বিম্ব (real image) বলা হয়। 21 নং চিত্রে P বিন্দু-প্রভব হইতে রশ্মিগুচ্ছ L উত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া P′ বিন্দুতে মিলিত হইতেছে এবং পরে চোখে যাইয়া পড়িতেছে। এস্থলে লেন্সের ভিতর দিয়া P বিন্দুর দিকে তাকাইলে চোখ P′ বিন্দুতে উহার প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। এই প্রতিবিম্বকে সদ্‌বিম্ব বলা হয়। P′ বিন্দুতে কোন সাদা পর্দা রাখিলে পর্দার উপরে P-র প্রতিবিম্ব পড়িবে।

সদ্‌বিম্ব গঠন চিত্র নং 21

অসদ্‌ বিম্ব ঃ বিন্দু-প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যদি অন্য কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তখন ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রভবের অসদ্‌বিম্ব (virtual image) বলা হয়।

22 নং চিত্রে M_1M_2 সমতল দর্পণের সম্মুখে P একটি বিন্দুপ্রভব। P হইতে রশ্মিগুচ্ছ বহির্গত হইয়া দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইতেছে এবং চোখে গিয়া পড়িতেছে। দর্পণের ভিতর দিয়া তাকাইলে মনে হইবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি P′

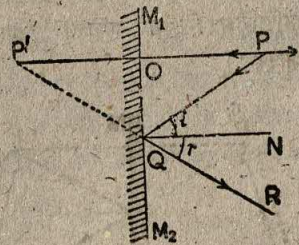
অসদ্‌বিম্ব গঠন চিত্র নং 22

বিন্দু হইতে আসিতেছে অর্থাৎ মনে হইবে P বিন্দু P′ বিন্দুতে অবস্থিত। সুতরাং P′ বিন্দু P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। এস্থলে P′ বিন্দুর স্থানে পর্দা রাখিলে পর্দায় কোন প্রতিবিম্ব পড়িবে না। সুতরাং অসদ্‌বিম্ব কেবলমাত্র চোখে দেখা যায়; পর্দায় ফেলা যায় না।

সদ্‌ ও অসদ্‌ বিম্বের পার্থক্য : (1) কোন বিন্দু-প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যদি এক বিন্দুতে মিলিত হয় তবে সদ্‌বিম্ব সৃষ্টি হয় কিন্তু যদি তাহারা এক বিন্দুতে মিলিত না হইয়া কোন এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তবে অসদ্‌বিম্বের সৃষ্টি হয়।

(2) সদ্‌বিম্ব চোখে দেখা যায় এবং পর্দাতেও ফেলা যায়। কিন্তু অসদ্‌বিম্ব শুধু চোখে দেখা যায়, পর্দাতে ফেলা যায় না।

2-9. সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব :

M_1M_2 একটি সমতল দর্পণ ও P উহার সম্মুখে অবস্থিত একটি বিন্দু প্রভব। P হইতে PO রশ্মি দর্পণে অভিলম্ব রূপে আপতিত হইয়া পুনরায় OP পথে অভিলম্বভাবে প্রতিফলিত হইয়া প্রত্যাবর্তন করিল। আর একটি রশ্মি PQ প্রতিফলিত হইয়া QR পথে গমন করিল। সুতরাং $\angle PQN = \angle RQN$ (23 নং চিত্র)। OP ও QR এই দুটি প্রতিফলিত রশ্মি পিছনে বর্ধিত করিলে P′ বিন্দুতে মেলে। অর্থাৎ, মনে হইবে প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় P′ বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং P′ বিন্দু P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব।

সমতল দর্পণের প্রতিবিম্ব

চিত্র নং 23

এখন, $\angle PQN = OPQ$ (যেহেতু QN ও OP সমান্তরাল)

আবার একই কারণে $\angle NQR = \angle OP'Q$

সুতরাং, $\angle OPQ = OP'Q$ [কারণ $\angle PQN = \angle NQR$]

এবার, $\Delta\, QOP$ ও $\Delta\, QOP'$ লও। ইহাদের মধ্যে

$\angle\, OPQ = \angle OP'Q$

$\angle\, QOP = \angle QOP'$ [$\because$ উভয়ই $90°$]

এবং QO দুই ত্রিভুজেরই বাহু।

$\therefore$ ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম। সুতরাং, $OP = OP'$

অর্থাৎ, প্রভব-P দর্পণের যতটা সম্মুখে প্রতিবিম্ব P′ দর্পণ হইতে ততটা পিছনে এবং PP′ সরলরেখা দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।

অতএব সমতল দর্পণ যে-প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে তাহার নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্য বর্তমান ঃ

(1) **দর্পণ হইতে বস্তুর দূরত্ব** (object distance)=**দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব** (image distance)।

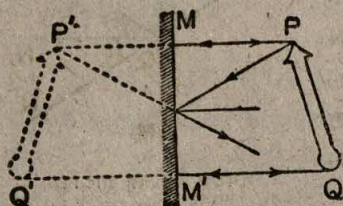
(2) **প্রতিবিম্ব ও বস্তু সরলরেখা দ্বারা সংযুক্ত করিলে তাহা দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।**

(3) **প্রতিবিম্ব অসদ্।**

(4) **বস্তুর সাইজ=প্রতিবিম্বের সাইজ।**

(5) প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় পরিবর্তন হয় [2·14 অনুচ্ছেদ]।

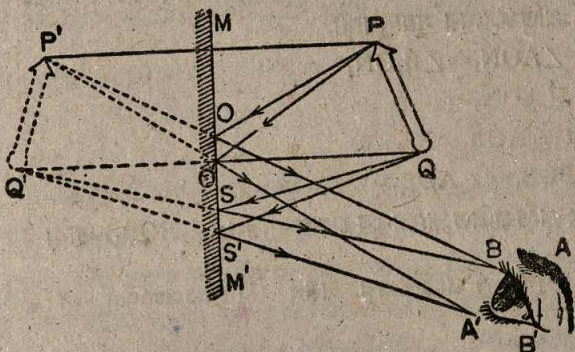
2-10. বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব (Image of an extended object) ঃ

MM′ দর্পণের সম্মুখে PQ একটি বিস্তৃত বস্তু (24 নং চিত্র)। পূর্বে বলা হইয়াছে, **বিস্তৃত বস্তুকে অসংখ্য বিন্দু-প্রভবের সমষ্টি ধরা যাইতে পারে।** সুতরাং বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব নির্ণয় করিতে হইলে প্রত্যেক বিন্দু-প্রভবের প্রতিবিম্ব নির্ণয় করিয়া উহাদের সমষ্টি নির্ণয় করিলে পূর্ণ প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে।

বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব
চিত্র নং 24

PQ বস্তুর P বিন্দু হইতে দর্পণের উপর লম্ব টানিয়া উহাকে পিছনের দিকে সমান দূরে P′ বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত করিলে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু Q হইতে MM′ রেখার উপর লম্ব টানিয়া সমদূরে Q′ পর্যন্ত প্রসারিত করিলে Q বিন্দুর প্রতিবিম্ব মিলিবে। P এবং Q-এর মধ্যবর্তী বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্ব P′ এবং Q′-এর মধ্যে থাকিবে। সুতরাং P′Q′ হইবে PQ বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব (24 নং চিত্র)।

আলোকরশ্মির প্রতিফলনের দ্বারা উক্ত PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব দর্শক কিরূপে দেখিবে তাহা 25 নং চিত্রে দেখানো হইল।

P বিন্দু হইতে PO এবং PO′ রশ্মিগুলি দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া চোখে এমনভাবে পৌঁছায় যে মনে হইবে P বিন্দু P′ বিন্দুতে অবস্থান করিতেছে, অর্থাৎ P′ বিন্দু হইতেছে P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। তেমনি সর্বনিম্ন Q বিন্দু হইতে QS ও QS′ রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হইবার পর মনে হইবে রশ্মিগুলি [illegible]বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং চোখ Q বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব Q′ বিন্দুতে

দেখিবে। এইভাবে PQ বস্তুর প্রত্যেক বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইবে এবং পূর্ণ প্রতিবিম্ব P′Q সৃষ্টি করিবে।

আলোকরশ্মির প্রতিফলনে বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব

চিত্র নং 25

উপরিউক্ত ক্ষেত্রে একটি বিষয় লক্ষ্য করিবার আছে। PQ বস্তু ও চোখের অবস্থানের উপর নির্ভর করিয়া দর্পণের যে-অংশ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিতে কার্যকর হইয়াছে তাহা হইল O হইতে S′ পর্যন্ত। সুতরাং উক্ত দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণ হইলেই প্রতিবিম্ব দেখা চলিবে। অবশ্য, চোখ বা বস্তু সরাইয়া লইলে দর্পণের কার্যকর অংশেরও পরিবর্তন হইবে।

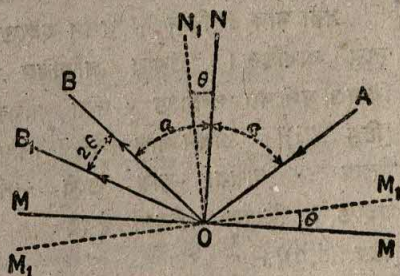
2-11. ঘূর্ণায়মান দর্পণ (Rotating mirror) :

আপতিত রশ্মির কোন দিক্ পরিবর্তন না করিয়া দর্পণকে θ কোণ ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি 2θ কোণ ঘুরিবে। ইহাই হইল ঘূর্ণায়মান দর্পণের নীতি।

ধরা যাউক, MM হইল দর্পণের প্রথম অবস্থান (26 নং চিত্র)। AO আপতিত রশ্মি ও OB প্রতিফলিত রশ্মি। ON হইল আপতন বিন্দু O হইতে MM রেখার উপর অভিলম্ব।

চিত্র নং 26

এখানে $\angle AON = \angle BON$ (প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী)। ধরা যাউক উভয়েই α; সুতরাং $\angle AOB = 2\alpha$.

এইবার দর্পণ θ কোণ ঘুরিয়া

M_1M_1 রেখায় অবস্থান করিল। সুতরাং অভিলম্বও θ কোণ ঘুরিবে। ধর অভিলম্ব ON_1 রেখায় অবস্থান করিল। এই অবস্থাতে ধরা যাউক, OB_1 প্রতিফলিত রশ্মি। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি যে কোণ ঘুরিল তাহা হইল $\angle BOB_1$; প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী,

$$\angle AON_1 = \angle B_1ON_1$$

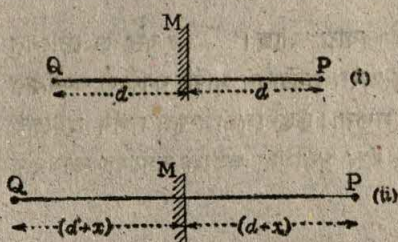
কিন্তু $\angle AON_1 = \alpha + \theta$

সুতরাং $\angle AOB_1 = 2(\alpha + \theta)$

$$\angle BOB_1 = \angle AOB_1 - \angle AOB = 2(\alpha+\theta) - 2\alpha = 2\theta$$

সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি যে কোণ ঘুরিল ($\angle BOB_1$) তাহা 2θ.

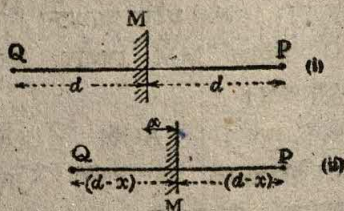
2-12. দর্পণ ও প্রতিবিম্বের সরণ (Displacement of mirror and image) ঃ

(i) যদি কোন লক্ষ্যবস্তু দর্পণের দিকে অথবা দর্পণ হইতে দূরে সরিয়া যায় তবে উহার প্রতিবিম্বও অনুরূপভাবে সমান দূরে সরিবে।

চিত্র নং 27

ধরা যাক, P বিন্দু দর্পণ M হইতে d দূরে অবস্থিত [চিত্র 27(i)]। উহার প্রতিবিম্ব P′ বিন্দুও দর্পণ হইতে d দূরে থাকিবে। এখন P বিন্দু যদি দর্পণের দিকে x সরিয়া আসে তবে উহার বর্তমান দূরত্ব হইবে $=(d-x)$.

সুতরাং উহার প্রতিবিম্বের দূরত্ব $=(d-x)$। পূর্বে দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব ছিল d. অতএব প্রতিবিম্ব দর্পণের দিকে $d-(d-x)=x$ দূরত্ব সরিয়া গেল।

(ii) যদি দর্পণ কোন লক্ষ্যবস্তুর দিকে অথবা লক্ষ্যবস্তু হইতে দূরে সরিয়া যায় তবে লক্ষ্য বস্তুর প্রতিবিম্ব অনুরূপভাবে দ্বিগুণ সরিবে।

ধরা যাক্ P বিন্দু M দর্পণ হইতে d দূরে অবস্থিত। উহার প্রতিবিম্ব P′ বিন্দুও দর্পণের পশ্চাতে d দূরে থাকিবে [চিত্র 28(i)]। এখন যদি দর্পণ P বিন্দুর দিকে x সরিয়া যায় তবে দর্পণ হইতে P বিন্দুর বর্তমান দূরত্ব $=d-x$ [চিত্র 28(ii)]।

চিত্র নং 28

সুতরাং প্রতিবিম্ব P′ দর্পণের পশ্চাতে $(d-x)$ দূরে থাকিবে। লক্ষ্যবস্তু ও

প্রতিবিম্বের ভিতর পূর্বেকার দূরত্ব $=2d$; লক্ষ্যবস্তু ও প্রতিবিম্বের ভিতর বর্তমান দূরত্ব $=2(d-x)$।

যেহেতু বস্তু স্থির, কাজেই প্রতিবিম্বের সরণ $=2d-2(d-x)=2x$.

অতএব, দর্পণ লক্ষ্যবস্তুর দিকে x সরিলে, ঐ বস্তুর প্রতিবিম্ব $2x$ সরিবে।

2-13. সমতল দর্পণ-সংক্রান্ত কয়েকটি সম্পাদ্য :

(1) **দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের ভিতর একটি নির্দিষ্ট কোণে অবস্থান করে। একটি রশ্মি প্রথম দর্পণের সমান্তরালভাবে গিয়া দ্বিতীয় দর্পণে পড়িল এবং প্রতিফলিত হইয়া প্রথমে দর্পণে আপতিত হইল এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় দর্পণের সমান্তরালভাবে বাহির হইল। দর্পণ দুইটির ভিতরের কোণ নির্ণয় কর।**

ধরা যাউক, M_1M_2 এবং M_3M_4 দর্পণ দুইটি পরস্পরের ভিতর M_1OM_3 কোণ করিয়া আছে। AB একটি রশ্মি M_1M_2-দর্পণের সমান্তরালভাবে গিয়া M_3M_4 দর্পণে B বিন্দুতে আপতিত হইল। ঐ রশ্মি BC পথে প্রতিফলিত হইয়া M_1M_2 দর্পণে পড়িল এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া M_3M_4 দর্পণের সমান্তরাল-ভাবে CD পথে নির্গত হইল (29 নং চিত্র)।

চিত্র নং 29

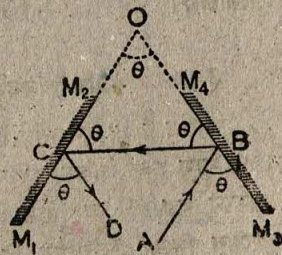
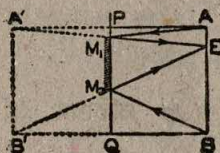
যেহেতু AB এবং M_1O সমান্তরাল এবং OM_3 উহাদের ছেদ করে সেইহেতু $\angle ABM_3 = M_1OM_3 = \theta$ (ধর)।

আবার, CD এবং M_3O সমান্তরাল এবং M_1O উহাদের ছেদ করে বলিয়া

$\angle M_1CD = \angle M_2OM_4 = \theta$.

আবার, AB আপতিত রশ্মি ও BC প্রতিফলিত রশ্মি হওয়াতে $\angle ABM_3 = \angle CBO = \theta$. একই কারণে $\angle M_1CD = BCO = \theta$.

অর্থাৎ $\angle OBC$-তে তিনটি কোণ পরস্পরের সমান। কাজেই $M_1OM_3 = 60^\circ$.

(2) **প্রমাণ কর যে, নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণে কোন ব্যক্তি তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে।**

ধর, AB মানুষের দৈর্ঘ্য এবং E তাহার চক্ষু (30 নং চিত্র)। PQ মানুষের সম্মুখে অবস্থিত দর্পণ। A হইতে PQ রেখার উপর লম্ব টানিয়া উহাকে A′ পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে AP=A′P হয়। সুতরাং A′ হইবে A বিন্দুর প্রতিবিম্ব। A′ ও E যোগ কর এবং মনে কর উহা দর্পণকে M_1 বিন্দুতে ছেদ করিল। রশ্মি A হইতে নির্গত হইয়া দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া চোখে গেলে মনে হইবে A বিন্দু A′ বিন্দুতে অবস্থান করিতেছে। অর্থাৎ দর্পণ M_1 বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হইলেই A′ প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু B-কে দেখিতে হইলে দর্পণ M_2 বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হওয়া দরকার। সুতরাং নিজ দেহের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে M_1M_2 দর্পণ প্রয়োজন।

চিত্র নং 30

AA′E ত্রিভুজে P বিন্দু AA′ রেখার মধ্যবিন্দু হওয়াতে এবং PM_1 রেখা AE রেখার সমান্তরাল বলিয়া M_1 বিন্দু A′E রেখার মধ্যবিন্দু।

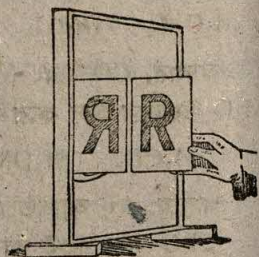
অনুরূপ কারণে M_2 বিন্দু B′E রেখার মধ্যবিন্দু প্রমাণ করা যায়। সুতরাং EA′B′ ত্রিভুজের দুই বাহুর মধ্যবিন্দু M_1 ও M_2 হওয়াতে M_1M_2 রেখা A′B′ রেখার অর্ধেক। অর্থাৎ, দর্পণের কার্যকর অংশ মানুষের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হওয়া প্রয়োজন।

2-14. পার্শ্বীয় পরিবর্তন (Lateral inversion) ঃ

আয়নার সামনে দাঁড়াইলে আমাদের বাম হাত ডান হাত বলিয়া এবং ডান হাত বাম হাত বলিয়া মনে হয়। একটি কাগজে 'R' কথাটি লিখিয়া আয়নার সামনে ধর (31 নং চিত্র)। দেখিবে প্রতিবিম্ব পাশের দিকে উল্টাইয়া গিয়াছে। প্রতিবিম্বের এই পরিবর্তনকে পার্শ্বীয় পরিবর্তন বলা হয়। প্রতিসম (symmetrical) বস্তুর প্রতিবিম্বে এইভাবে কোন পরিবর্তন দেখা যায় না।

প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় পরিবর্তন

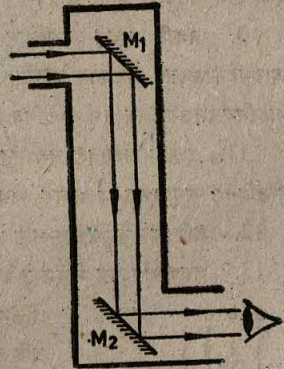
চিত্র নং 31

ধর, আমরা D, A, M, P, N অক্ষরগুলি লইলাম। ইহাদের ভিতর A এবং M প্রতিসম —অর্থাৎ উহাদের দ্বিখণ্ডিত করিলে, দুইটি খণ্ডের চেহারাই একরকম। অন্যান্য অক্ষরগুলি প্রতিসম নয়। ফলে, দর্পণের সম্মুখে ধরিলে, A এবং M অক্ষর দুইটির প্রতিবিম্বে পার্শ্বীয় পরিবর্তন বোঝা যাইবে না ; অন্যান্য অক্ষরগুলির বেলায় বোঝা যাইবে।

পার্শ্বীয় পরিবর্তনের কারণ এই যে আয়না হইতে বস্তুর দূরত্ব উহার প্রতিবিম্বের দূরত্বের সমান। প্রতিবিম্বের পার্শ্ব পরিবর্তন হইলেও প্রতিবিম্বের আকার একই থাকে।

কাগজে কিছু লিখিয়া ব্লটিং কাগজে চাপিলে ব্লটিং কাগজে উল্টা ছাপ পড়ে। এইবার ব্লটিং কাগজকে আয়নার সম্মুখে ধরিলে উল্টা লেখা পার্শ্বীয় পরিবর্তনের ফলে সোজা দেখা যাইবে।

2-15. সরল পেরিস্কোপ (Simple periscope) :

লক্ষ্য করিয়াছ কি গড়ের মাঠে বহু লোক পেরিস্কোপ লইয়া ভিড়ের উপর দিয়া ফুটবল খেলা দেখে ? যুদ্ধের সময় পরিখার ভিতর লুকাইয়া বিপক্ষ সৈন্যদের গতিবিধি পেরিস্কোপের সাহায্যে দেখা হয়। ডুবোজাহাজেও উন্নত ধরনের পেরিস্কোপ ব্যবহৃত হয়।

32 নং চিত্রে সরল পেরিস্কোপের একটি নক্‌শা দেখানো হইল। M_1 এবং M_2 দুইখানা সমতল দর্পণ সমান্তরালভাবে একটি কাঠের ফ্রেমে বা ধাতবনলে আটকানো থাকে। দর্পণদ্বয়কে সমান্তরাল রাখিয়া এদিক-ওদিক ঘুরাইবার ব্যবস্থা আছে। ফ্রেমকে খাড়া অবস্থায় রাখিয়া নিচের দর্পণের দিকে তাকাইলে বহু দূরের বস্তু দেখা যাইবে। সাধারণত কোন দূরের বস্তু সোজাসুজি দেখিতে বাধা থাকিলে এই যন্ত্রের সাহায্যে তাহা দেখা যায়। দূরাগত আলোক-রশ্মি M_1 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া নলের অক্ষ (axis) বরাবর আসিয়া M_2 দর্পণে পড়িবে এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া অনুভূমিকভাবে দর্শকের চোখে পৌঁছাইবে। দর্শক তখন দূরের বস্তু স্পষ্ট দেখিতে পাইবে। সুতরাং সোজাসুজি দেখিতে না পাইলেও এইভাবে দূরের বস্তু দেখা যায়।

চিত্র নং 32

প্রশ্নাবলী

1. আলোর প্রতিফলন কাহাকে বলে ? প্রতিফলনের নিয়ম কি ? ঐ নিয়মগুলির সত্যতা প্রমাণ করিবে কিরূপে ? [*M. Exam., 1980, '82, '85*]

2. আয়নায় আলো পড়িলে চক্‌চকে দেখায় কিন্তু দেওয়ালে আলো পড়িলে চক্‌চকে দেখায় না। কেন ? সিনেমার পর্দা সাদা এবং অমসৃণ করা হয় কেন ?

3. ঘষা কাচ জলে ভিজাইলে প্রায় স্বচ্ছ দেখায় কেন?

4. প্রতিবিম্ব বলিতে কি বোঝ? কয় প্রকার প্রতিবিম্ব আছে? উহাদের ভিতর পার্থক্য কি?

5. আলোকরশ্মির প্রতিফলনের নিয়ম বল। কোন বিন্দুপ্রভব হইতে নির্গত আলোকরশ্মি সমতল দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া একটি বিন্দু হইতে অপসৃত হয় তাহা দেখাও। ঐ বিন্দুকে কি বলে? উহার অবস্থান কোথায়? উহার প্রকৃতি কিরূপ? [*H. S. Exam., 1980*]

6. ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে সমতল দর্পণ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। প্রমাণ কর দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব বস্তুর দূরত্বের সমান।

7. একটি সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের বৈশিষ্ট্য আলোচনা কর।
[*M. Exam., 1985, '87*]

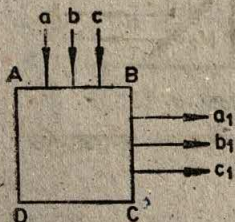
8. প্রমাণ কর সমতল দর্পণ যে কোণে আবর্তিত হয় প্রতিফলিত রশ্মি উহার দ্বিগুণ কোণে আবর্তিত হয়। [*H. S. Exam., 1960*]

9. নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণে কোন ব্যক্তি তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পায় ইহা ছবি আঁকিয়া প্রমাণ কর।

10. একটি ঘরের মাঝখানে এক ব্যক্তি দণ্ডায়মান। ঐ ব্যক্তির সম্মুখের দেওয়ালে একটি আয়না টাঙানো আছে। আয়নার দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে ঐ ব্যক্তি আয়নার ভিতর দিয়া পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে? [Ans. দেওয়ালের উচ্চতার $\frac{1}{3}$ ভাগ]

11. কোন লক্ষ্যবস্তু দর্পণের দিকে অথবা দর্পণ হইতে দূরে সরিয়া গেলে, প্রমাণ কর প্রতিবিম্বও অনুরূপভাবে সমান দূরে সরিবে।

12. প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় পরিবর্তন কাহাকে বলে?

13. সরল দর্পণের সাহায্যে আলোর প্রতিফলনের একটি চিত্র আঁক। চিত্রে আপতিতরশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি, আপতন কোণ এবং প্রতিফলন কোণ দেখাও। প্রতিফলনের সূত্রগুলি বিবৃত কর।

14. ABCD এরূপ একটি শূন্য স্থান যে a, b, c আলোক রশ্মি শূন্যস্থানে প্রবেশ করিয়া a_1, b_1, c_1 রশ্মিরূপে নির্গত হইল [চিত্র 33]। শূন্যস্থানে এরূপ একটি আলোকীয় ব্যবস্থার অবস্থান নির্দেশ কর যাহা রশ্মিগুলিকে ঐরূপ ঘুরাইয়া দিবে।

চিত্র নং 33

15. M_1M_2 সমতল দর্পণের সম্মুখে একটি পিন P আটকানো হইল। চিত্রে P পিনের প্রতিবিম্বের অবস্থান চিহ্নিত কর। P হইতে নির্গত দুইটি রশ্মি সমতল দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া ঐ প্রতিবিম্ব গঠন করিলে, ঐ রশ্মিদ্বয়ের পথ অঙ্কন কর। এই সম্পর্কে নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও ঃ

(i) ঐ প্রতিবিম্ব সদ্ কি অসদ্ (ii) দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব কি বস্তুদূরত্বের সমান? (iii) প্রতিবিম্বে কি পার্শ্বীয় পরিবর্তন ঘটে?

Objective type :

16. (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত উক্তিগুলির পাশে একটি করিয়া ব্যাখ্যা দেওয়া আছে। ঐ ব্যাখ্যাগুলি ভুল কি নির্ভুল বল এবং এক লাইনে তোমার উত্তরের কারণ লেখ ঃ

উক্তি	ব্যাখ্যা
(a) সমতল দর্পণ অসদ্ বিম্ব গঠন করে	বিম্ব দর্পণের পশ্চাতে গঠিত হয়।
(b) সমতল দর্পণের সম্মুখে দাঁড়াইয়া কোন ব্যক্তি বাম হাত উঠাইলে দর্পণে প্রতিবিম্ব ডান হাত তোলে।	দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব দর্পণ হইতে বস্তুদূরত্বের সমান।
(c) সকল আলোকীয় যন্ত্রের অভ্যন্তর কালো রং করা থাকে।	কালো রং আলো শোষণ করে।
(d) সিনেমার পর্দা অমসৃণ করা হয়	অমসৃণ তল বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন সৃষ্টি করে।
(e) সমতল দর্পণে আলোকরশ্মি অভিলম্বভাবে আপতিত হইলে একই পথে ফিরিয়া যায়	সমতল দর্পণে আলোকরশ্মি প্রতিফলনের সূত্র মানিয়া চলে।

17. 'হ্যাঁ' কিংবা 'না' লিখিয়া নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও ঃ

(a) অসদ বিম্বের ফটোগ্রাফ নেওয়া সম্ভব কি? —

(b) আলোকরশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনে কি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে? —

(c) সরল পেরিস্কোপে কি সমান্তরাল দর্পণের নীতি প্রয়োগ করা হয়? —

(d) সমতল দর্পণে যে প্রতিবিম্ব হয় তাহার সাইজ কি বস্তুর সাইজ অপেক্ষা বৃহত্তর? —

(e) সিনেমার পর্দা কি সাদা হয়? —

(f) সমতল দর্পণ কি সদ্‌বিম্ব গঠন করিতে পারে? —

(g) সমতল দর্পণ 45° কোণে আবর্তিত হইলে, প্রতিফলিত রশ্মিও কি 45° কোণে আবর্তিত হইবে? —

অঙ্ক ঃ

18. একটি দর্পণ একটি স্থির বস্তুর দিকে 5 cm. সরিয়া গেল। প্রমাণ কর বস্তুর প্রতিবিম্ব অনুরূপভাবে 10 cm. সরিবে।

19. A এবং B দুইটি সমতল দর্পণের মধ্যে P একটি বিন্দু প্রভব। দর্পণদ্বয়ের দূরত্ব 3 ইঞ্চি এবং একটি দর্পণ হইতে P-এর দূরত্ব 2 ইঞ্চি। A দর্পণের পশ্চাতে P-এর তৃতীয় প্রতিবিম্ব এবং B-এর পশ্চাতে তৃতীয় প্রতিবিম্ব দুইটির ভিতর দূরত্ব কত?

[Ans. 18 inches]

20. দুইটি সমতল দর্পণের অভ্যন্তরস্থ কোণ নির্ণয় কর যখন একটি রশ্মি দ্বিতীয় দর্পণের সমান্তরালভাবে গিয়া প্রথম দর্পণে আপতিত হইল এবং প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় দর্পণে পড়ার পর পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া একই পথে প্রত্যাবর্তন করিল। [Ans. 45°]

21. একটি সমতল দর্পণে আলোকরশ্মি এরূপভাবে প্রতিফলিত হইল যে আপতিত রশ্মি এবং প্রতিফলিত রশ্মির ভিতর 20° কোণ উৎপন্ন হইল। এখন দর্পণকে 15° ঘুরাইলে আপতিত রশ্মি ও প্রতিফলিত রশ্মির ভিতর সম্ভাব্য কোণ কি কি হইতে পারে? [Ans. 50°, 10°]

22. 5·6 ft দীর্ঘ এক ব্যক্তি সমতল দর্পণের সম্মুখে দাঁড়াইয়া আছে। দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে, ব্যক্তি তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে? [Ans. 2·8 ft.]

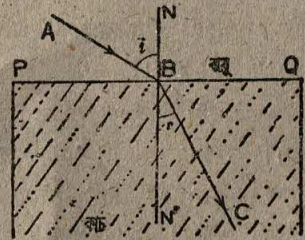
তৃতীয় পরিচ্ছেদ

সমতলে আলোকের প্রতিসরণ

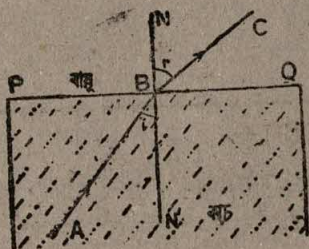
[Refraction of light at a plane surface]

3-1. আলোকের প্রতিসরণ ঃ

একটি জলপূর্ণ পাত্রের তলদেশে দৃষ্টিপাত করিলে মনে হয় জল তত গভীর নয়। তেমনি একটি লাঠি জলে খানিকটা ডুবাইলে মনে হয় যেন লাঠি যেখানে জল স্পর্শ করিয়াছে সেখান হইতে লাঠিটা বাঁকা। ইহা হইতে বোঝা যায় যে, আলোকরশ্মি জলে যে-সরলরেখায় চলে জল হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিলে অন্য সরলরেখায় চলে। অর্থাৎ **এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করিলে আলো গতির অভিমুখ পরিবর্তন করে।** আলোকরশ্মির গতির অভিমুখের এই পরিবর্তনকে প্রতিসরণ (refraction) বলে।

ধরা যাউক, একটি আলোকরশ্মি বায়ুমাধ্যমে AB সরলরেখায় আসিয়া একটি কাচের ব্লকের উপর তির্যকভাবে আপতিত হইল (34 নং চিত্র)। আলোক-রশ্মি এইবার কাচের ভিতর প্রবেশ করিবে। কিন্তু কাচের ভিতর রশ্মি যে সরলরেখায় যাইবে তাহা AB হইতে ভিন্ন—কারণ B বিন্দুতে আলোকের প্রতিসরণ হইবে। ধরা যাউক, কাচের ভিতর আলোকরশ্মি BC সরলরেখায় গমন করিল। এস্থলে AB আপতিত রশ্মি, BC প্রতিসৃত রশ্মি, B আপতন বিন্দু (point of incidence) এবং PQ দুই মাধ্যমের বিভাগতলের ছেদ রেখা (line of section)। যদি B বিন্দু দিয়া PQ রেখার উপর লম্ব টানা যায় (NBN′) তবে উহাকে আপতন বিন্দুতে বিভাগ তলের উপর অভিলম্ব বলা হয়। আপতিত রশ্মি-AB অভিলম্ব BN-এর সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে ($\angle ABN$) তাহাকে আপতন কোণ ($\angle i$) বলে এবং প্রতিসৃত রশ্মি BC উক্ত অভিলম্বের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে ($\angle CBN'$) তাহাকে প্রতিসৃত কোণ ($\angle r$) বলে।

লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে আলোর প্রতিসরণ

চিত্র নং 34

দেখা গিয়াছে যে, আলোকরশ্মি যখন লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় (যেমন, বায়ু হইতে কাচে) তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় অথবা প্রতিসৃত কোণ আপতিত কোণ অপেক্ষা ছোট হয় (34 নং চিত্র)।

ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে আলোর প্রতিসরণ
চিত্র নং 35

কিন্তু যদি আলোকরশ্মি ঘন মাধ্যম হইলে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় (যেমন, কাচ হইতে বায়ুতে) তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অথবা প্রতিসৃত কোণ আপতিত কোণ অপেক্ষা বড় হয় (35 নং চিত্র)।

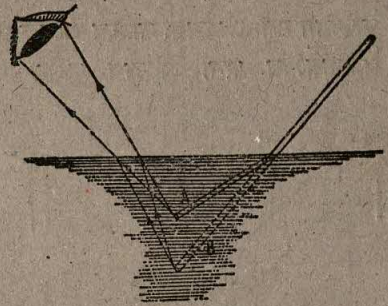
3-2. আলোকের প্রতিসরণের কয়েকটি দৃষ্টান্ত ঃ

(1) একটি কাগজের উপর কালির ফোঁটা ফেলিয়া উহার উপর একটি কাচের ফলক রাখ। এইবার কাচের ভিতর দিয়া সোজাসুজি ফোঁটা লক্ষ্য করিলে মনে হইবে উহা খানিকটা উপরে উঠিয়া আছে। আলোকের প্রতিসরণের জন্য এইরূপ মনে হয়।

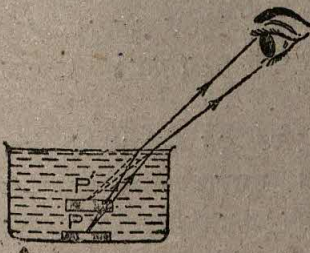
প্রতিসরণের দরুন O বিন্দুকে O′ বিন্দুতে দেখা যাইবে
চিত্র নং 36

মনে কর O বিন্দু হইল ফোঁটাটি (36 নং চিত্র)। এখন O বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছকে চোখে পৌঁছাইতে কাচ হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিতে হইবে। সুতরাং দুই মাধ্যমের বিভাগ তলে রশ্মির প্রতিসরণ হইবে। যেহেতু রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাইতেছে সেইহেতু প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে এবং মনে হইবে O′ বিন্দু হইতে আসিতেছে। এই কারণে জলভর্তি পাত্রের তলদেশে সোজাসুজি তাকাইলে মনে হয় পাত্রের জল তত গভীর নয়।

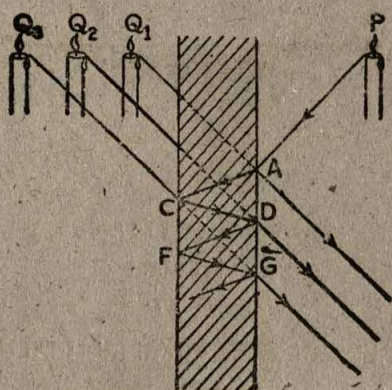
(2) **জলে নিমজ্জিত দণ্ডের বক্রতা ঃ ঃ** একটি দণ্ড জলে তির্যকভাবে আংশিক ডবাইয়া রাখিলে মনে হয় যেন দণ্ড যেখানে জল স্পর্শ করিয়াছে সেখান হইতে বাঁকানো (37 নং চিত্র)। আলোর প্রতিসরণের জন্য এইরূপ হয়।

দণ্ডের যে-অংশ জলের উপরে আছে তাহা হইতে আলোকরশ্মি সোজাসুজি চোখে আসিবে; সুতরাং ঐ অংশকে চোখ যথাস্থানে দেখিবে। কিন্তু জলের ভিতরের অংশ হইতে আলোকরশ্মি যখন চোখে আসিবে তখন জল ও বায়ুর বিভাগ-তলে প্রতিসৃত হইয়া চোখে পৌঁছাইবে। এস্থলে রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রবেশ করায় প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে এবং মনে হইবে যে B বিন্দু A বিন্দুতে রহিয়াছে। তেমনি নিমজ্জিত অংশের অন্যান্য বিন্দুগুলিও ঐভাবে মনে হইবে খানিকটা উঠিয়া আছে। সুতরাং নিমজ্জিত অংশ ও বাহিরের অংশ একই সরলরেখায় দেখা না যাওয়ায় মনে হয় লাঠি বাঁকিয়া আছে।

প্রতিসরণের ফলে অর্ধ নিমজ্জিত দণ্ডটি বাঁকা দেখায়
চিত্র নং 37

(3) **জলে নিমজ্জিত মুদ্রার প্রতিবিম্ব ঃ** একটি কাঁসার বড় বাটিতে একটি চক্চকে মুদ্রা রাখ এবং চোখকে আস্তে আস্তে সরাইয়া এমন স্থানে আন যাহাতে মুদ্রা সদ্য দৃষ্টির অগোচর হয়।

এই অবস্থায় মুদ্রা হইতে আলোকরশ্মি বাটির কিনারা দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হওয়ায় চোখে পৌঁছাইবে না। চোখকে ঐ অবস্থায় রাখিয়া এইবার বাটি জলপূর্ণ কর। দেখিবে যে, মুদ্রা দেখা যাইতেছে। এইরূপ হইবার কারণ আলোর প্রতিসরণ (38 নং চিত্র)।

প্রতিসরণের দরুন মুদ্রাটি দৃষ্টির গোচরে আসিয়াছে
চিত্র নং 38

বাটিতে জল থাকায় মুদ্রা হইতে আলোকরশ্মি নির্গত হইয়া জল হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিবে। জল বায়ু অপেক্ষা ঘন বলিয়া প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে এবং এই প্রতিসৃত রশ্মি যখন চোখে পৌঁছাইবে তখন মনে হইবে যেন P বিন্দু P′ বিন্দুতে অবস্থিত আছে। অর্থাৎ মনে হইবে মুদ্রা খানিকটা উপরে উঠিয়া আসিতেছে। সুতরাং ইহা দৃষ্টির গোচরে আসিবে।

(4) **পুরু আয়না কর্তৃক বস্তুর বহু প্রতিবিম্ব সৃষ্টি ঃ** একটি পুরু কাচের আয়নার সামনে কোন বস্তু, ধর—একটা মোমবাতি রাখিয়া একটু তির্যকভাবে প্রতিবিম্ব দেখিলে দেখা যাইবে অনেকগুলি প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হইয়াছে। আলোকের প্রতিসরণের জন্য এইরূপ হইয়া থাকে।

পুরু আয়নায় বস্তুর বহু প্রতিবিম্ব গঠন
চিত্র নং 39

ধরা যাউক, মোমবাতির P বিন্দু হইতে PA আলোকরশ্মি আয়নার উপর A বিন্দুতে আপতিত হইল (39 নং চিত্র)। আলোকরশ্মির খুব সামান্য অংশ A বিন্দুতে প্রতিফলিত হইবে এবং উহার জন্য একটি অস্পষ্ট প্রতিবিম্ব Q_1 তৈয়ারী হইবে। আলোকরশ্মির বেশী অংশ কাচের ভিতর প্রতিসৃত হইয়া আয়নার পিছনে পারদ প্রলেপে আপতিত হইবে এবং সেখান হইতে সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া CD সরলরেখায় আসিয়া D বিন্দুতে আয়নার সম্মুখের তলে আপতিত হইবে। এই আলোকরশ্মির আবার বেশী অংশ D বিন্দুতে প্রতিসৃত হইয়া বায়ুতে প্রবেশ করিবে এবং তাহার ফলে Q_2 প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিবে। এই প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট হইবে। সাধারণত আমরা ইহাকেই আয়নার ভিতর প্রতিফলিত দেখি। D বিন্দুতে রশ্মির কিছু অংশ পুনরায় প্রতিফলিত হইবে এবং একই পদ্ধতি অনুসারে বার বার প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হইয়া Q_3 ও অন্যান্য প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিবে। কিন্তু ক্রমশ আলোর তীব্রতা কমিয়া আসায় প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট হইয়া যায়। এইভাবে পুরু আয়নায় অনেকগুলি প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

(5) **বায়ুমণ্ডলে প্রতিসরণ ঃ** সমুদ্রস্তর হইতে যত উপরে উঠা যায় বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন স্তরের ঘনত্ব তত কমিয়া যায়। সুতরাং সূর্য বা চন্দ্র হইতে নির্গত আলোকরশ্মি যখন আমাদের চোখে পৌঁছায় তখন বিভিন্ন স্তরের ভিতর দিয়া আসিবার ফলে রশ্মির প্রতিসরণ হয় এবং বস্তুকে আমরা উহার প্রকৃত অবস্থান হইতে খানিকটা উপরে দেখি। এই কারণে সূর্য বা চন্দ্র উদয়ের একটু আগে ও অস্ত যাইবার একটু পরে সূর্য বা চন্দ্র আমাদের দৃষ্টিগোচরে থাকে।

3-3. প্রতিসরণের সূত্র (Laws of refraction) ঃ

এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে যাইবার সময়ে আলোকরশ্মির যে প্রতিসরণ হয় তাহা নিম্নলিখিত সূত্রানুযায়ী হইয়া থাকে।

(1) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে বিভেদ-তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি সর্বদা এক সমতলে থাকে।

(2) আপতন কোণের সাইন (sine) ও প্রতিসৃত কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয় এবং এই ধ্রুবকের মান দুই মাধ্যম ও আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে।

অর্থাৎ, যদি আপতন কোণকে i বলা হয় এবং প্রতিসৃত-কোণকে r বলা হয়, তবে উপরিউক্ত নিয়মানুসারে $\frac{\sin i}{\sin r}=\mu$ (উচ্চারণ 'মিউ') = ধ্রুবক।

এই ধ্রুবক 'μ' বলা হয় প্রথম মাধ্যমের (যে-মাধ্যম হইতে রশ্মি আগমন করে) সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের (যে-মাধ্যমে রশ্মি প্রতিসৃত হয়) প্রতিসরাঙ্ক (refractive index)।

উদাহরণস্বরূপ বলা যাইতে পারে, যখন আলোকরশ্মি বায়ু মাধ্যম হইতে আসিয়া কাচ মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন উক্ত কোণ দুইটির সাইনের অনুপাত 1·51 ; অর্থাৎ বায়ু সাপেক্ষ কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·51.

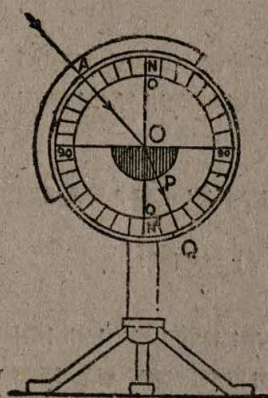
প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রকে স্নেল সূত্রও (Snell's law) বলা হয়, কারণ এই সূত্রটি বিজ্ঞানী ডাঃ স্নেল আবিষ্কার করেন।

3-4. পরীক্ষামূলকভাবে প্রতিসরণের সূত্রসমূহের সত্যতা নিরূপণ (Experimental verification of the laws of refraction) :

প্রতিসরণের সূত্র দুইটির সত্যতা দুই উপায়ে নিরূপণ করা যাইতে পারে। (1) হার্টল-এর আলোকচক্র দ্বারা ও (2) পিন দ্বারা।

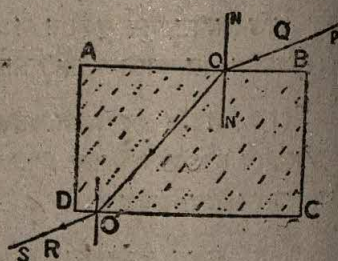
(1) **হার্টল-এর আলোকচক্র দ্বারা :** এই আলোকচক্রের বিবরণ দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে (2·5 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। 40 নং চিত্রে প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা দেখানো হইল।

এই চক্রের কেন্দ্রস্থলে O একটি অর্ধ-বৃত্তাকার কাচ ফলক (glass slab)। ইহা এমনভাবে আটকানো আছে যে, ফলকের অনুভূমিক তল 90°–90° রেখার সহিত মিশানো এবং 0°–0° রেখা ফলকের কেন্দ্রের ভিতর দিয়া গিয়াছে। সুতরাং 0°–0° রেখা কাচ ফলকের অনুভূমিক তলের উপর অভিলম্ব। এখন যদি আলোকরশ্মি AO পথে চক্রের তরল বরাবর আসিয়া কাচের উপর O বিন্দুতে আপতিত হয় তবে ঐ রশ্মি কাচের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইবে। ধর, প্রতিসৃত

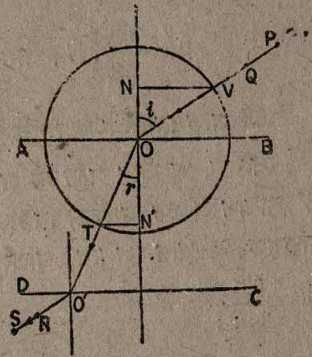
রশ্মি OP পথে গেল। ঐ রশ্মি যখন কাচ হইতে বহির্গত হইবে তখন আর প্রতিসৃত না হইয়া PQ পথে সোজা চলিয়া যাইবে। সুতরাং AO আপতিত রশ্মি, OPQ তাহার প্রতিসৃত রশ্মি। P বিন্দুতে আলোকের আর প্রতিসরণ না হইবার কারণ এই যে OP রেখা অর্ধবৃত্তের ব্যাস হওয়ায় OP বরাবর আগত রশ্মি P বিন্দুতে অভিলম্বভাবে আপতিত হয়। সুতরাং P বিন্দুতে রশ্মির আর কোন প্রতিসরণ হয় না। এইবার চক্রের স্কেল হইতে সহজে AON কোণ ও QON′ কোণ নির্ণয় করা যাইবে।

হার্টলের আলোকচক্র ; প্রতিসরণের সূত্র পরীক্ষা

চিত্র নং 40

এখন চাক্‌তিকে ঘুরাইলে AO রশ্মির স্থান পরিবর্তন হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে প্রতিসৃত রশ্মিরও স্থান পরিবর্তন হইবে। প্রত্যেকবার চাক্‌তির স্কেল হইতে আপতন কোণ ও প্রতিসৃত কোণ নির্ণয় কর। দেখা যাইবে যে, প্রত্যেকবার $\frac{\sin AON}{\sin QON'}$-এর মান সমান হইবে। সুতরাং ইহা দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে। তাছাড়া, আপতিত রশ্মি AO, প্রতিসৃত রশ্মি OQ ও অভিলম্ব ON চক্রতলে অবস্থিত হওয়াতে প্রথম সূত্রেরও সত্যতা প্রমাণিত হয়।

(2) **পিন দ্বারা ঃ** একটি কার্ডবোর্ডের উপর একখণ্ড সাদা কাগজ আঁটিয়া উহার মধ্যস্থলে একটি আয়তাকার কাচের ফলক রাখ। পেন্সিল দিয়া ফলকের বহিঃরেখা ABCD আঁক (41 নং চিত্র)। এইবার ফলকের AB পাশে দুইটি পিন P ও Q লম্বভাবে পোঁত যাহাতে PQ সরলরেখা AB রেখাকে তির্যকভাবে ছেদ করে। এইবার ফলকের CD পাশ হইতে কাচের ভিতর দিয়া P ও Q-এর প্রতিবিম্ব দেখ। চোখ এমন অবস্থানে রাখ যাহাতে প্রতিবিম্ব দুইটি এক সরলরেখায় থাকে। চোখ ঐভাবে রাখিয়া আরও দুইটি পিন R ও S ফলকের CD পাশে আটকাও যাহাতে R ও S এবং P ও Q-এর প্রতিবিম্ব একই সরলরেখায় অবস্থান করে।

পিন দ্বারা প্রতিসরণের সূত্র পরীক্ষা

চিত্র নং 41

এইবার ফলক ও পিনগুলি সরাইয়া লইয়া P ও Q চিহ্ন যোগ কর ও উহাদের বর্ধিত করিয়া AB সরলরেখায় O বিন্দুতে মিশাও। তেমনি R ও S চিহ্ন যোগ করিয়া উহাদের বর্ধিত কর ও DC সরলরেখায় O′ বিন্দুতে মিশাও। এইবার OO′ বিন্দুদ্বয় একটি সরলরেখা দ্বারা যোগ কর। এস্থলে PQO আপতিত রশ্মি ও OO′ কাচের ভিতর প্রতিসৃত রশ্মি। O বিন্দুতে AB সরলরেখার উপর NN′ লম্ব টান (42 নং চিত্র)। সুতরাং NON′ আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব। O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া সুবিধা মত ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত আঁক যাহা PQO সরলরেখাকে V বিন্দুতে ও OO′ সরলরেখাকে T বিন্দুতে ছেদ করে। V এবং T হইতে NON′ অভিলম্বের উপর VN ও TN′ লম্ব টান।

চিত্র নং 42

এখন $\sin i=\frac{NV}{OV}$ এবং $\sin r=\frac{TN'}{OT}$

$$\therefore \frac{\sin i}{\sin r}=\frac{NV}{OV}\div\frac{TN'}{OT}=\frac{NV}{TN'} \quad [\because OV=OT]$$

NV ও TN′-এর দৈর্ঘ্য মাপিয়া উহাদের অনুপাত বাহির করিলে আপতন কোণ ও প্রতিসৃত কোণদ্বয়ের সাইনের অনুপাত পাওয়া যাইবে। এইভাবে P ও Q পিনের অবস্থান পরিবর্তন করিয়া কয়েকবার পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে এই অনুপাতগুলি সর্বদা সমান। সুতরাং ইহা দ্বারা দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

উপরন্তু আপতিত রশ্মি PQO, প্রতিসৃত রশ্মি OO′ ও অভিলম্ব NN′ কাগজের তলে থাকায় প্রথম সূত্রের সত্যতাও ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয়।

3-5. আপেক্ষিক ও পরম প্রতিসরাঙ্ক (Relative and absolute refractive index) :

যখন আলোকরশ্মি '*a*' মাধ্যম হইতে আসিয়া '*b*' মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসৃত কোণের সাইনের অনুপাতকে '*a*'

মাধ্যমের সাপেক্ষে 'b' মাধ্যমে প্রতিসরাঙ্ক বলা হয়। ইহাকে ${}_a\mu_b$ এইভাবে লেখা হয়। অর্থাৎ

$${}_a\mu_b=\frac{\sin i}{\sin r}$$ [i=আপতন কোণ ও r=প্রতিসৃত কোণ।]

এই প্রতিসরাঙ্ককে **আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক** বলে।

যেহেতু, আলোর গতিপথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible), কাজেই রশ্মি যদি 'b' মাধ্যম হইতে আসিয়া বিভাগতলে r কোণে আপতিত হয় তবে 'a' মাধ্যমে প্রতিসৃত হইবার সময়ে প্রতিসৃত কোণ i হইবে। অর্থাৎ, এই অবস্থায় ${}_b\mu_a=\frac{\sin r}{\sin i}$

সুতরাং $${}_a\mu_b\times{}_b\mu_a=\frac{\sin i}{\sin r}\times\frac{\sin r}{\sin i}=1$$ অথবা, $${}_b\mu_a=\frac{1}{{}_a\mu_b}$$

যেমন, বায়ু মাধ্যমের সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$; অতএব কাচ মাধ্যমের সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক $\frac{2}{3}$.

যখন আলোকরশ্মি শূন্য (vacuum) হইতে অন্য কোন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তখনকার প্রতিসরাঙ্ককে ঐ মাধ্যমের **পরম প্রতিসরাঙ্ক** বলে।

সাধারণভাবে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিলে বুঝিতে হইবে, আলোকরশ্মি বায়ু হইতে আসিয়া উক্ত মাধ্যমে প্রতিসৃত হইয়াছে। যেমন, কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 বলিলে বুঝিতে হইবে যে বায়ু মাধ্যমে রশ্মি আসিয়া যে-আপতন কোণ সৃষ্টি করিবে ও কাচের মধ্যে প্রতিসৃত হইয়া যে-প্রতিসৃত কোণ উৎপন্ন হইবে উহাদের সাইনের অনুপাত 1·5.

আলোকীয় ঘনত্ব ও প্রাকৃতিক ঘনত্ব ঃ কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোকের বর্ণের (colour of light) উপর নির্ভর করে, একথা পূর্বে বলা হইয়াছে। লালবর্ণের আলোকের বেলাতে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক যাহা হইবে, সবুজ, নীল বা বেগুনী বর্ণের আলোকের বেলাতে তাহা অপেক্ষা বেশী হইবে। আর প্রতিসরাঙ্ক বেশী হইলেই সেই মাধ্যমকে বলা হয় আলোক সাপেক্ষে ঘন মাধ্যম। মাধ্যমের আলোকীয় ঘনত্বের সহিত উহার প্রাকৃতিক ঘনত্ব (physical density) বা আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন সম্পর্ক নাই। যেমন, প্রাকৃতিক ঘনত্ব হিসাবে তার্পিন তেল জল অপেক্ষা লঘু (তার্পিনের আঃ গুঃ=0·87) কিন্তু আলোক সাপেক্ষে তার্পিন তেল জল অপেক্ষা ঘন (তার্পিনের প্রতিসরাঙ্ক=1·47)। সুতরাং একথা মনে রাখিতে হইবে, পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বেশী হইলে উহা আলোক সাপেক্ষে বেশী ঘন নাও হইতে পারে।

3-6. প্রতিসরাঙ্কের সহিত আলোকের গতিবেগের সম্পর্ক (Relation between the refractive index and the velocity of light) :

প্রতিসরাঙ্কের একটি গুরুত্বপূর্ণ তাৎপর্য আছে। আলোকের তরঙ্গ-তত্ত্ব হইতে প্রমাণ করা যায় যে, কোন মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক μ হইলে,

$$\mu = \frac{\text{শূন্যে আলোকের গতিবেগ}}{\text{ঐ মাধ্যমে ,, ,,}}$$

এখন যদি দুইটি মাধ্যম '*a*' এবং '*b*' লওয়া হয় এবং '*a*' মাধ্যমের সাপেক্ষে '*b*' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $_a\mu_b$ হয়, তবে $_a\mu_b = \frac{\text{'a' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ।}}{\text{'b' ,, ,, ,,}}$

যদি '*b*' মাধ্যম '*a*' মাধ্যম অপেক্ষা ঘন হয় তবে $_a\mu_b > 1$ এবং সেক্ষেত্রে '*b*' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ '*a*' মাধ্যম অপেক্ষা কম। সুতরাং ঘনতর মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ লঘুতর মাধ্যম অপেক্ষা কম। যেমন, বায়ুতে আলোর গতিবেগ জলের ভিতর গতিবেগ অপেক্ষা বেশী।

উদাহরণ : 5×10^{14}Hz কম্পাঙ্কযুক্ত একটি আলোকতরঙ্গ 1.5 প্রতিসরাঙ্কের এক মাধ্যমে প্রবেশ করিল। ঐ মাধ্যমে আলোকতরঙ্গের গতিবেগ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ $= 3 \times 10^{10}$ cm/s.

উঃ। আমরা জানি, $\mu = \frac{\text{শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ}}{\text{প্রদত্ত ,, ,, ,,}}$

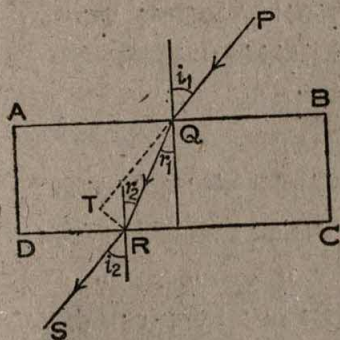
অথবা, $1.5 = \frac{3 \times 10^{10}}{V}$ অথবা, $V = \frac{3 \times 10^{10}}{1\cdot5} = 2 \times 10^{10}$ cm/s.

আবার, $\lambda = \frac{V}{n}$ [n = তরঙ্গের কম্পাঙ্ক]

$$\therefore \quad \lambda = \frac{2 \times 10^{10}}{5 \times 10^{14}} = 0\cdot4 \times 10^{-4} \text{ cm.}$$

কয়েকটি পদার্থের প্রতিসরাঙ্কের তালিকা

কঠিন পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক	তরল পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক
ক্রাউন কাচ	1·5	জল	1·33
ফ্লিন্ট কাচ	1·62	গ্লিসারিন	1·47
হীরা	2·6	তার্পিন তেল	1·47
বরফ	1·31	অ্যালকোহল	1·37

3-7. সমান্তরাল ফলকের ভিতর দিয়া আলোকরশ্মির প্রতিসরণ ঃ সমান্তরাল তলবিশিষ্ট ফলককে সমান্তরাল ফলক বলে। মনে কর, ABCD কাচের একটি সমান্তরাল ফলক [চিত্র 43]। PQ রশ্মি i_1 আপতন কোণে AB তলে আপতিত হইয়াছে। রশ্মি কাচের ভিতর প্রবেশ করিবার সময় প্রতিসৃত হইবে। মনে কর, r_1 প্রতিসরণ কোণে QR বরাবর গিয়া রশ্মি ফলকের অপর তল CD-তে আপতিত হইল। রশ্মি এইবার কাচ হইতে বায়ুতে নির্গত হইবার সময় পুনরায় প্রতিসৃত হইবে। ধর, রশ্মির নির্গম কোণ$=i_2$; এক্ষেত্রে প্রমাণ করা যায়, আপতিত রশ্মি PQ এবং নির্গম রশ্মি RS পরস্পরের সমান্তরাল।

চিত্র নং 43

প্রমাণ ঃ বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $a\mu g$ ধরিলে, আমরা লিখিতে পারি, $a\mu g=\frac{\sin i_1}{\sin r_1}$; আবার, কাচ সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক $g\mu a$ হইলে, R বিন্দুতে প্রতিসরণ অনুযায়ী, $g\mu a=\frac{\sin r_2}{\sin i_2}$; কিন্তু আমরা জানি, $a\mu g=\frac{1}{g\mu a}$

$$\text{সুতরাং}\quad \frac{\sin i_1}{\sin r_1}=\frac{1}{\frac{\sin r_2}{\sin i_2}}=\frac{\sin i_2}{\sin r_2}$$

এখন চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় যে, $\angle r_1=\angle r_2$; কাজেই $\sin r_2=\sin r_1$ এবং $\sin_1=\sin i_2$; অতএব, $i_1=i_2$.

অর্থাৎ আপতিত রশ্মি PQ এবং নির্গম রশ্মি RS পরস্পরের সমান্তরাল।

3·8. প্রতিসরণ সম্পর্কিত কয়েকটি ঘটনা ঃ

(ক) একটি কাচের পাত্রে খানিকটা গ্লিসারিন লইয়া উহার ভিতর একটি কাচের দণ্ড রাখ। এখন গ্লিসারিনের ভিতর দিয়া কাচের দণ্ডটি দেখিবার চেষ্টা করিলে কাচের দণ্ড দেখা যাইবে না। কাচের এবং গ্লিসারিনের প্রতিসরাঙ্ক সমান। উহারা একই মাধ্যমের মত ব্যবহার করে। ফলে, কাচ হইতে নির্গত আলোকরশ্মির কোন প্রতিফলন বা প্রতিসরণ হয় না। উপরন্তু কাচ ও গ্লিসারিন উভয়েই স্বচ্ছ বলিয়া গ্লিসারিনের ভিতর দিয়া কাচ দেখা যায় না। একইভাবে কার্বন ডাই সালফাইড তরলের ভিতর একটি ফ্লিন্ট কাচের দণ্ড ডুবাইয়া রাখিলে,

কাচদণ্ডকে দেখা যায় না কারণ কার্বন ডাই সালফাইড এবং ফ্লিন্ট কাচের প্রতিসরাঙ্ক সমান।

(খ) কাচ সাধারণভাবে স্বচ্ছ পদার্থ। কাচের ভিতর দিয়া আলো সহজে চলাচল করে। কিন্তু কাচকে গুঁড়া করিলে, কাচগুঁড়া অস্বচ্ছ হয়। কারণ আলোকরশ্মি গুড়ার ভিতর দিয়া অবাধে যাইতে পারে না—অসংখ্য গুড়া কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। আবার কাচগুঁড়াতে জল ঢালিলে উহা পুনরায় স্বচ্ছ দেখায়। এস্থলে জলের ভিতর দিয়া আলোর প্রতিসরণের সুবিধা হয় বলিয়া গুঁড়াকে স্বচ্ছ দেখায়।

3-9. **অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন** (Total internal reflection) :

আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে, আলোকরশ্মি যখন ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অথবা প্রতিসৃত কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বেশী হয়।

ধরা যাউক, AB রেখা জল ও বায়ু মাধ্যমদ্বয়ের স্পর্শতলের (44 চিত্র) ছেদ। এখানে জল ঘন ও বায়ু লঘু মাধ্যম। জলের মধ্যে P_1 বিন্দু হইতে রশ্মি P_1O পথে গিয়া বায়ুতে OQ_1 পথে প্রতিসৃত হইল। প্রতিসৃত কোণ Q_1ON আপতন কোণ P_1ON' অপেক্ষা বড়। আপতন কোণ যত বৃদ্ধি করা হইবে প্রতিসৃত কোণও তত বৃদ্ধি পাইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না প্রতিসৃত কোণ 90° হয়, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মি OQ_2 মাধ্যমদ্বয়ের স্পর্শতল AB ঘেঁষিয়া যায়। কারণ ইহা অপেক্ষা প্রতিসৃত কোণের মান বেশী হইতে পারে না। ধরা যাউক আপতন কোণ যখন $\angle P_2ON$ হইল তখন OQ_2 প্রতিসৃত রশ্মি AB তল ঘেঁষিয়া গেল।

অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন

চিত্র নং 44

এইবার যদি আপতন কোণ একটু বাড়ানো যায়, তবে দেখা যাইবে রশ্মি আর বায়ুমাধ্যমে প্রতিসৃত হইতেছে না; সম্পূর্ণ রশ্মি সাধারণ প্রতিফলনের নিয়মানুযায়ী AB তল দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া জলে প্রবেশ করিতেছে। 44 নং চিত্রে P_3ON' ঐরূপ বর্ধিত আপতন কোণ দেখানো হইয়াছে এবং তাহার ফলে OQ_3 রশ্মি জলে প্রতিফলিত হইয়া আসিতেছে। এই অবস্থায় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ তল আয়নার মত ব্যবহার করে। ইহাকে **অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন** বলে।

তাছাড়া যে আপতন কোণের $\angle P_2ON$ ফলে প্রতিসৃত কোণ 90° হয় তাহাকে উক্ত মাধ্যমদ্বয়ের **সংকট কোণ** (critical angle) বলা হয়।

সংজ্ঞা ঃ আলোকরশ্মি ঘনমাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে গিয়া যদি প্রতিসরণ তলে ঐ মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী কোণে আপতিত হয় তবে আলোকরশ্মি প্রতিসরণ তলে সম্পূর্ণরূপে প্রতিফলিত হইয়া ঘন মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। ইহাকেই অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন বলে।

সংকট কোণ ও ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক ঃ

ধরা যাক, $\angle P_2ON'=\theta$ জল ও বায়ু মাধ্যমের সংকট কোণ (চিত্র নং 44)। এখানে প্রতিসৃত রশ্মি OQ_2 জলের উপরতল AB ঘেঁষিয়া যাইবে অথবা প্রতিসরণ কোণ $=90^\circ$. যদি বায়ু সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক $a\mu\omega$ হয়, তবে প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র হইতে পাই, $\dfrac{\sin\ \theta}{\sin\ 90}=\dfrac{1}{a\mu\omega}$ $\therefore$ $\sin\ \theta=\dfrac{1}{a\mu\omega}$

সুতরাং ঘনমাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক জানা থাকিলে সংকট কোণ θ নির্ণয় করা যায়।

অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের শর্ত ঃ অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইতে গেলে নিম্নলিখিত দুইটি শর্তের অবশ্য প্রয়োজন ঃ

(1) রশ্মিকে ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যাইতে হইবে।

(2) আপতন কোণ মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ অপেক্ষা বড় হইতে হইবে।

উদাহরণ ঃ বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হইলে, উহাদের ভিতর সংকট কোণ কত হইবে ? $\sin 41^\circ=0{\cdot}66$

উঃ। ধর, θc=সংকট কোণ ; তাহা হইলে, $\sin\ \theta c=\dfrac{1}{a\mu g}$; এখানে $a\mu g=1{\cdot}52$; অতএব, $\sin\ \theta c=\dfrac{1}{1{\cdot}52}=0{\cdot}66=\sin\ 41^\circ$ $\therefore$ $\theta c=41^\circ$

3-10. সাধারণ প্রতিফলন ও অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ভিতর পার্থক্য (Difference between ordinary reflection and total internal reflection) ঃ

(1) যে কোন মাধ্যম হইতে আসিয়া আলোকরশ্মি অপর কোন মাধ্যমে আপতিত হইলে আলোকরশ্মির সাধারণ প্রতিফলন হয় ; কিন্তু পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হইতে গেলে আলোকরশ্মিকে ঘন মাধ্যম হইতে আসিয়া লঘু মাধ্যমে আপতিত হইতে হইবে।

(2) আলোকরশ্মির সাধারণ প্রতিফলন যে-কোন আপতন কোণেই হইতে পারে ; কিন্তু পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হইতে গেলে আলোকরশ্মিকে দুই মাধ্যমের সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী কোণে আপতিত হইতে হইবে।

(3) সাধারণত আলোকরশ্মি এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হইলে মাধ্যমদ্বয়ের ছেদতলে আপতিত আলোকরশ্মির কিছু অংশ শোষিত হয়, কিছু অংশের সাধারণ প্রতিফলন হয় এবং বাকী অংশের দ্বিতীয় মাধ্যমের ভিতর প্রতিসরণ হয়। কিন্তু পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনে, আপতিত আলোকরশ্মি সবটাই প্রতিফলিত হয় ; কোন অংশই শোষিত বা প্রতিসৃত হয় না।

3-11. পূর্ণ প্রতিফলনের কয়েকটি দৃষ্টান্ত ঃ

(1) একটি লোহার বলের গায়ে ভুষাকালি মাখাইয়া জলে ডুবাও। দেখিবে কালি মাখানো সত্ত্বেও বলের গা চক্‌চকে দেখাইতেছে। পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের জন্য এইরূপ হয়।

ভুষাকালি মাখাইবার ফলে বলকে জলে রাখিলেও উহার গায়ে একটা পাতলা বায়ুস্তর লাগিয়া থাকে। আলোকরশ্মি জলের ভিতর দিয়া বায়ুস্তরে পড়ে অর্থাৎ ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাইবার চেষ্টা করে। চোখ যদি এমনভাবে রাখা যায় যে আপতন কোণ জল ও বায়ুর সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হয় তবে আলোকরশ্মি পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইবে। সুতরাং বলের ঐ অংশ আয়নার মত চক্‌চকে দেখাইবে।

এই কারণে জলের ভিতর হইতে বুদবুদ্ উঠিবার সময় চক্‌চকে দেখায় বা কাচের কাগজ-চাপার (paper-weight) ভিতর বুদ্‌বুদ্‌গুলি চক্‌চকে দেখায়। হীরা, চুনী, পান্না প্রভৃতি মূল্যবান পাথরের উজ্জ্বলতাও পূর্ণ প্রতিফলনের দরুন হইয়া থাকে।

(2) একটি পাত্র জলপূর্ণ করিয়া উহার ভিতরে একটি খালি কাচের টেস্ট টিউব আংশিক ডুবাইয়া রাখ। উপর হইতে টেস্ট টিউবের নিমজ্জিত অংশে দৃষ্টিপাত করিলে চক্‌চকে দেখাইবে। এইরূপ হইবার কারণ কি?

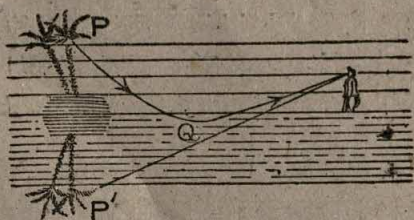
পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য টেস্ট টিউবের নিমজ্জিত অংশ চক্‌চকে দেখায়
চিত্র নং 45

আলোকরশ্মি জল হইতে গিয়া টেস্ট টিউবের অভ্যন্তরস্থ বায়ুতে প্রবেশ করিতে চায় এবং আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইলে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছায় (45 নং চিত্র)। এই কারণে টেস্ট টিউবের গা চক্‌চকে দেখায়।

টেস্ট টিউব যদি জলপূর্ণ করা

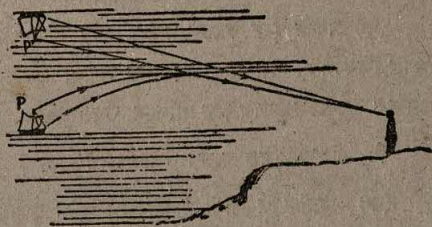
যায় তবে, উহার উজ্জ্বলতা আর থাকিবে না। কারণ আলোকরশ্মি টেস্ট টিউবের বাহিরের জল হইতে আসিয়া ভিতরের জলে প্রবেশ করিবে। সুতরাং পূর্ণ প্রতিফলন হইবে না।

(3) **পূর্ণ প্রতিফলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত :** মরু অঞ্চলে বা শীতপ্রধান দেশে কোন দূরের বস্তু সম্বন্ধে লোকের একপ্রকার দৃষ্টিভ্রম (optical illusion) হয়। মরু অঞ্চলে মনে হয়, কোন দূরের গাছপালা কোন জলাশয় কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়াছে এবং শীতপ্রধান দেশে মনে হয় কোন দূরের বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলিয়া আছে। এই দৃষ্টিভ্রমকে **মরীচিকা** (mirage) বলে এবং ইহা আলোকের পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য হইয়া থাকে।

মরুভূমির মরীচিকা : মরুভূমিতে সূর্যের উত্তাপে বালি খুব উত্তপ্ত হয় এবং উহার সংলগ্ন বায়ুস্তরও উত্তপ্ত হয়। ফলে ঐ বায়ুস্তরের আয়তন বাড়িয়া যায় এবং ঘনত্ব কমিয়া যায়। যত উপরে উঠা যায় তাপমাত্রা তত কম থাকে এবং তাহার ফলে উপরে ক্রমশ ঘনতর বায়ুস্তর অবস্থান করে। দূরের একটি গাছের কোন বিন্দু P হইতে যে-কোন নিম্নগামী আলোকরশ্মি শীতল বায়ুস্তর হইতে উত্তপ্ত বায়ুস্তরে (অর্থাৎ ঘনতর হইতে লঘুতর মাধ্যমে) যাওয়ার ফলে প্রতিসৃত হইবে এবং অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। এইভাবে ক্রমশ বাঁকিতে বাঁকিতে অবশেষে এমন একটি স্তরে, যেমন—Q স্তরে আসিয়া পৌঁছাইবে যখন আপতন কোণ সেই স্তর ও নীচু স্তরের সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইবে (46 নং চিত্র)। সুতরাং তখন রশ্মির প্রতিসরণ না হইয়া অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইবে এবং প্রতিফলিত রশ্মি উপর দিকে যাত্রা শুরু করিবে। এইবার রশ্মি লঘুতর স্তর হইতে ঘনতর স্তরে প্রতিসৃত হওয়ায় ক্রমশ উপরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে এবং অবশেষে মানুষের চোখে যাইয়া পৌঁছাইবে। চোখ রশ্মির এই বক্রপথ অনুসরণ করিতে পারিবে না। চোখ দেখিবে যেন রশ্মি P′ বিন্দু হইতে আসিতেছে। P′ বিন্দু হইবে P বিন্দুর অসদ্ প্রতিবিম্ব। এইভাবে মানুষ সমগ্র গাছের উল্টা প্রতিবিম্ব দেখিবে।

মরুভূমির মরীচিকা
চিত্র নং 46

তাছাড়া, তাপমাত্রার অনবরত পরিবর্তনের ফলে বিভিন্ন বায়ুস্তরের ঘনত্ব ও প্রতিসরাঙ্ক সর্বদা পরিবর্তিত হয়। ইহার ফলে প্রতিবিম্বের মৃদু আন্দোলন হইতেছে বলিয়া মনে হয়; যেমন বায়ুপ্রবাহের ফলে জলাশয়ের জল কম্পিত

হইলে প্রতিবিম্ব আস্তে আস্তে আন্দোলিত হয়। গাছ হইতে সোজাসুজি যে রশ্মি চোখে পৌঁছায় তাহার ফলে গাছটিকে যথাস্থানে দেখা যায়। এই সব মিলিয়া মানুষের চোখে জলাশয় কর্তৃক প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হইয়াছে এইরূপ দৃষ্টিভ্রম হয়।

শীতপ্রধান দেশের মরীচিকা : শীতের দেশের বায়ুস্তরের ঘনত্ব যত উপরে যাওয়া যায় তত কমিয়া যায়। সুতরাং কোন দূরের বস্তু হইতে যে আলোকরশ্মি ঊর্ধ্বগামী হয় তাহা ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যাওয়ার ফলে অভিলম্ব হইতে দূরে প্রতিসৃত হয়। এই-ভাবে ক্রমশ আপতন কোণ বৃদ্ধি পাইয়া অবশেষে একটি স্তর হইতে পূর্ণ প্রতিফলন হয়। তখন রশ্মি নিম্নগামী হইয়া মানুষের চোখে পৌঁছায় এবং মনে হয় উপরের কোন এক বিন্দু হইতে আসিতেছে। এইরূপে সমগ্র বস্তুর একটা উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলন্ত অবস্থায় দেখা যায় (47 নং চিত্র)।

শীতপ্রধান দেশের মরীচিকা
চিত্র নং 47

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের প্রতিসরণ কাহাকে বলে? নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে আলোকের প্রতিসরণ কিরূপ হয় তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও—(ক) বায়ু হইতে কাচে, (খ) জল হইতে বায়ুতে।

2. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির জবাব দাও :—

(ক) একটি দণ্ডকে আংশিক জলে ডুবাইলে বাঁকা দেখায় কেন? (খ) একটি জলপূর্ণ পাত্র একটু অগভীর মনে হয় কেন? (গ) সূর্য অস্ত গেলেও কিছুক্ষণ দেখা যায় কেন?

3. প্রতিসরণের নিয়ম কি? [*M. Exam., 1984, '88*] উহাদের সত্যতা পরীক্ষা করিবে কিরূপে?

4. প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 বলিতে কি বোঝায়? প্রতিসরাঙ্ক ও আলোর গতিবেগের সম্পর্ক কি?

5. আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলি বিবৃত কর। আলোকের রংয়ের উপর প্রতিসরাঙ্ক কিভাবে নির্ভর করে? [*M. Exam., 1980*]

6. 'আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন' ও 'সংকট কোণ' কাহাকে বলে পরিষ্কারভাবে বুঝাইয়া

দাও। [*M. Exam.*, *1983*, *'85*, *'87*] নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে 'সংকট কোণ' পাওয়া যাইবে কিনা বল ঃ—

(ক) আলোকরশ্মি বায়ু হইতে কাচে যাইতেছে। (খ) আলোকরশ্মি কাচ হইতে বায়ুতে যাইতেছে।

7. 'প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা' লেখ এবং 'সংকট কোণ' ও 'অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন' ব্যাখ্যা কর। সংকট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের ভিতর সম্পর্ক নির্ণয় কর। [*H. S. Exam.*, *1980*]

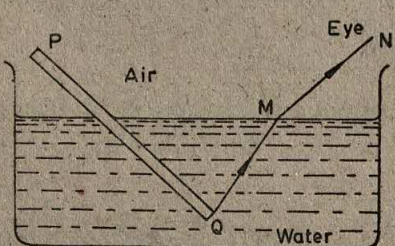
8. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ ঃ—

(ক) একটি পুরু কাচের দর্পণে বস্তুর অনেকগুলি প্রতিবিম্ব দেখা যায় কেন? (খ) নক্ষত্রগুলি ঝিকমিক করে কিন্তু গ্রহগুলির আলো স্থির কেন? (গ) কাচ স্বচ্ছ, কাচের গুঁড়া অস্বচ্ছ কেন? কাচের গুঁড়ায় জল ঢালিলে, উহা পুনরায় স্বচ্ছ হয় কেন?

9. নিম্নলিখিত প্রশ্নের জবাব লেখ ঃ—

(ক) ভুষাকালি মাখা ধাতব বল জলে ডুবাইলে চক্‌চকে দেখায় কেন? (খ) কাচের জানালায় ফাটল থাকিলে উহা চক্‌চকে দেখায় কেন? (গ) একটি খালি কাচের নল জলপূর্ণ পাত্রে তির্যকভাবে রাখিলে নিমজ্জিত অংশ চক্‌চকে দেখায় কেন?

10. মরীচিকা কাহাকে বলে? সুন্দর নক্‌শার সাহায্যে মরীচিকা কিরূপে সৃষ্টি হয় বর্ণনা কর। [*M. Exam.*, *1983*, *'87*]

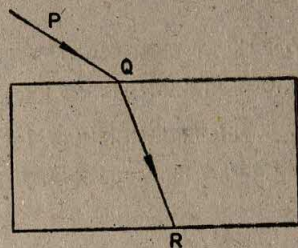
11. মরীচিকাকে তুমি প্রতিবিম্ব বলিবে? প্রতিবিম্ব হইলে, ইহা সদ্ না অসদ্?

12. এক মাধ্যম অপর মাধ্যমের তুলনায় আলোক সাপেক্ষে বেশী ঘন বলিতে কি বুঝায়? ইহার সহিত মাধ্যমের প্রাকৃতিক ঘনত্বের সম্পর্ক কি?

13. 48 নং চিত্রে PQ একটি পেনসিল আংশিক জলে নিমজ্জিত দেখানো হইয়াছে। পেনসিলের Q বিন্দু হইতে নির্গত একটি রশ্মি QMN পথ বরাবর যায়।

চিত্র নং 48

(i) চিত্রটি সম্পূর্ণ কর এবং দেখাও যে, উপর হইতে দেখিলে পেনসিলকে ভাঙ্গা বলিয়া মনে হয়। (ii) এই ঘটনা কি কারণে ঘটে? (iii) আর একটি উদাহরণ দাও (বাঁকানো পেনসিল ছাড়া) যেখানে বস্তুর প্রতিবিম্ব তাহার প্রকৃত অবস্থান হইতে খানিকটা উপরে উঠিয়া আছে বলিয়া মনে হয়।

14. একটি আলোকরশ্মি পুরু কাচের দর্পণে পড়িয়াছে। দর্পণের তল পারদ প্রলেপযুক্ত। এই রশ্মিটি কাচের পশ্চাৎতল হইতে প্রতিফলিত হইয়া যখন বায়ুতে নির্গত হইবে, তাহার পথ নির্দেশ কর।

15. একটি আয়তাকার কাচব্লকের উপর পড়িয়া একটি আলোকরশ্মি PQ ব্লকের ভিতর প্রবেশ করিয়া QR পথে গেল [চিত্র 49]। রশ্মিটি R বিন্দুতে ব্লক হইতে নির্গত হইয়া বায়ুতে প্রবেশ করিলে, কোন্ পথে যাইবে তাহা চিত্রে আঁক। চিত্রে (i) আপতন কোণ (ii) প্রতিসরণ কোণ এবং নির্গম কোণ চিহ্নিত কর।

(iii) আপতন কোণ ও নির্গম কোণের ভিতর সম্পর্ক কি?

চিত্র নং 49

Objective type :

16. শুদ্ধ উত্তরের পাশে √ চিহ্ন দাও :

(a) 1নং এবং 2নং মাধ্যমে আলোর গতিবেগ যথাক্রমে v_1 এবং v_2 হইলে, 2নং মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক 1নং মাধ্যমের সাপেক্ষে হইবে— (i) v_1/v_2 (ii) v_2/v_1 (iii) $\sqrt{v_1/v_2}$

(b) দুইটি মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_1 এবং μ_2 এবং উহাদের মধ্যে আলোর গতিবেগ যথাক্রমে v_1 এবং v_2 হইলে—(i) $v_1=v_2$ (ii) $\mu_1 v_1=\mu_2 v_2$ (iii) $\mu_1 v_2=\mu_2 v_1$ (iv) $v_1\mu_1^2=v_2\mu_2^2$

(c) শূন্য মাধ্যম হইতে আসিয়া একটি আলোকরশ্মি ঘন মাধ্যমে প্রবেশ করায় উহার গতিবেগ 25% হ্রাস পাইল। ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক (i) 4/3 (ii) 5/3 (iii) 3/2 (iv) 5/4.

(d) সংকট কোণ ও ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক—এই দুইটি রাশির প্রকৃত সম্পর্ক হইল (i) $\sin\theta_c=\mu$ (ii) $\sin\theta_c=\frac{1}{\mu}$ (iii) $\sin\theta_c=\frac{1}{\mu^2}$ (iv) $\sin\theta_c=\mu^2$

(e) আপতন কোণ i এবং প্রতিসরণ কোণ r হইলে (i) $\mu=\frac{\sin r}{\sin i}$ (ii) $\mu=\frac{\sin i}{\sin r}$ (iii) $\mu\sin i=\sin r$ (iv) $\mu=\frac{\cos i}{\cos r}$

অঙ্ক :

17. এক ব্যক্তি দূরবীণের ভিতর দিয়া তাকাইয়া একটি খালি চোঙাকৃতি পাত্রের তলদেশের পরিধিস্থ A বিন্দুকে ঠিক দেখিতে পাইল। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের তরল দ্বারা পাত্রকে ভর্তি করিলে, পাত্র বা দূরবীণ না সরাইয়া ঐ ব্যক্তি তলদেশের ঠিক মধ্যবিন্দু B-কে দেখিতে পায়। পাত্রের তলদেশের ব্যাস 10 cm. হইলে, পাত্রের উচ্চতা কত? [Ans. 8·45 cm.]

18. বায়ু সাপেক্ষে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হইলে, উহাদের মধ্যে সংকট কোণ কত ? [Ans. 45°]

19. 1·5 প্রতিসরাঙ্কযুক্ত একটি কাচফলকের উপর 30° কোণে একটি রশ্মি আপতিত হইল। কাচের ভিতর প্রতিসরণ কোণ কত হইবে ? [Ans. 19°18′]

20. কোন পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক 1·4 ; শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ 3×10^{10} cm/s সেকেণ্ড হইলে, ঐ পদার্থে গতিবেগ কত হইবে ? [Ans. $2{\cdot}14 \times 10^{10}$ cm/s]

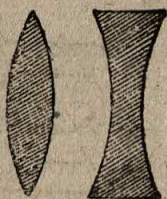
লেন্স ও উহার কার্যপ্রণালী
(Lenses and their actions)

4-1. সূচনা :

বহু পূর্বকাল হইতে লেন্সের ব্যবহারের প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে এক বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত করিবার যে ক্ষমতা লেন্সের আছে তাহা বহু পূর্বকাল হইতেই জানা ছিল। লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া বহুশত বৎসর পূর্বে "Burning glass" বা আতশী কাচের উদ্ভাবন হইয়াছিল। 1857 খ্রীষ্টাব্দে লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া একটি কাচের গোলক নির্মিত হইয়াছিল। এই গোলক দ্বারা সূর্যরশ্মিকে কেন্দ্রীভূত করিয়া ঘন্টা ও মিনিট চিহ্নিত একখানি কাগজ দগ্ধ করিয়া সময় নির্দেশ করিবার ব্যবস্থা করা হইয়াছিল। আধুনিককালে চশমা, ক্যামেরা, অণুবীক্ষণ, দূরবীক্ষণ প্রভৃতি নানারকম প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতিতে লেন্সের বহুল ব্যবহার দেখিতে পাওয়া যায়।

4-2. লেন্সের সংজ্ঞা (Definition of lenses) :

কোন স্বচ্ছ প্রতিসারক (refracting) মাধ্যমকে যদি দুইটি গোলীয় (spherical) অথবা একটি গোলীয় ও একটি সমতল তল দ্বারা সীমাবদ্ধ করা যায়, তবে সেই মাধ্যমকে **লেন্স** বলা হয়।

যে লেন্সের মধ্যস্থল পুরু এবং প্রান্তের দিকটা সরু তাহাকে **উত্তল** (convex) বা **অভিসারী** (converging) **লেন্স** বলে [50 (i) নং চিত্র]। যে লেন্সের মধ্যস্থল সরু এবং প্রান্তের দিকটা পুরু তাহাকে **অবতল** (concave) বা **অপসারী** (diverging) লেন্স বলে [50 (ii) নং চিত্র]।

উত্তল বা অবতল উত্তল
চিত্র নং 50

4-3. বিভিন্ন প্রকারের লেন্স (Different types of lenses) :

লেন্সের দুই তলের আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া বিভিন্ন প্রকার লেন্স তৈয়ারী করা যাইতে পারে। যথা :—

(1) **উভোত্তল** (Double or bi-convex) ঃ যে লেন্সের উভয়তল উত্তল তাহাকে উভোত্তল লেন্স বলে [51 (i) নং চিত্র]।

বিভিন্ন প্রকারের লেন্স

চিত্র নং 51

(2) **সমতলোত্তল** (Plano-convex) ঃ যে লেন্সের একটি তল সমতল ও অপরটি উত্তল তাহাকে সমতলোত্তল লেন্স বলে [51 (ii) নং চিত্র]।

(3) **অবতলোত্তল** (Concavo-convex) ঃ যে উত্তল লেন্সের একদিকে অবতল ও অন্যদিকে উত্তল তাহাই অবতলোত্তল লেন্স [51 (iii)নং চিত্র]।

(4) **উভাবতল** (Double or bi-concave) ঃ ইহার উভয়দিক অবতল [52 (i) নং চিত্র]।

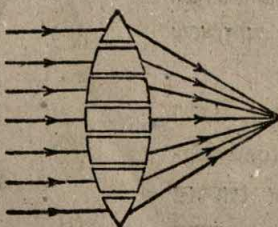
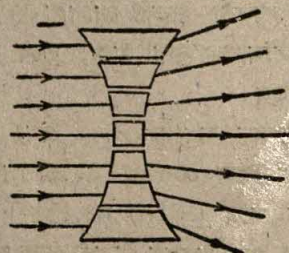
(5) **সমতলাবতল** (Plano-concave) ঃ এই অবতল লেন্সের একদিক সমতল এবং অপরদিক অবতল [52 (ii) নং চিত্র]।

(6) **উত্তলাবতল** (Convexo-concave) ঃ যে অবতল লেন্সের একদিক উত্তল অন্যদিক অবতল তাহাই উত্তলাবতল লেন্স [52 (iii)]।

বিভিন্ন প্রকারের অবতল লেন্স

চিত্র নং 52

4-4. উত্তল লেন্সকে অভিসারী ও অবতল লেন্সকে অপসারী বলা হয় কেন?

একটি উত্তল লেন্সকে 53 (*a*)নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে তেমনি ছোট ছোট প্রিজমের সমষ্টি বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। এই প্রিজমগুলির ভূমি

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ উত্তল লেন্স দ্বারা অভিসারী এবং অবতল লেন্স দ্বারা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়

চিত্র নং 53

লেন্সের কেন্দ্রের দিকে অভিমুখী। আমরা জানি, আলোকরশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়। সুতরাং যদি একগুচ্ছ সমান্তরাল

রশ্মি লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে ছোট ছোট প্রিজম দ্বারা বিচ্যুত হইয়া রশ্মিগুলি একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইবে [চিত্র নং 53(*a*) দ্রষ্টব্য]। এইজন্য উত্তল লেন্সকে অভিসারী লেন্স বলা হয়।

ঠিক একইভাবে অবতল লেন্সকে ছোট ছোট প্রিজমে ভাগ করিলে প্রিজমগুলির ভূমি লেন্সের প্রান্তের দিকে অভিমুখী হইবে। সুতরাং, এক্ষেত্রে রশ্মিগুলির চ্যুতি বিপরীত হইবে [চিত্র নং 53 (*b*)। ফলে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর মনে হইবে যেন একটি বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে অর্থাৎ উহা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইয়া ছড়াইয়া পড়িবে। এই কারণে অবতল লেন্সকে অপসারী লেন্স বলা হয়।

4-5. লেন্স সংক্রান্ত কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা :

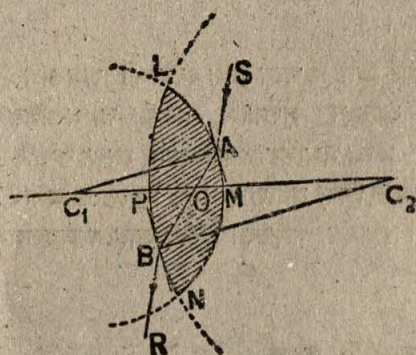
(i) **বক্রতা কেন্দ্র** (Centre of curvature) : লেন্সের উভয় তলই যদি গোলীয় হয় তবে উহারা প্রত্যেকে একটি নির্দিষ্ট গোলকের (sphere) অংশ হইবে। ঐ গোলকের কেন্দ্রকে ঐ তলের বক্রতা কেন্দ্র বলা হয়। যেমন, LN লেন্সের উভয়তলই গোলীয় (চিত্র নং 54)। LMN যে গোলকের অংশ (কাটা লাইন দিয়া দেখান হইয়াছে) উহার কেন্দ্র C_1; সুতরাং LMN তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইবে C_1 বিন্দু; ঐরূপ LPN তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইল C_2 বিন্দু।

যদি লেন্সের কোন একটি তল গোলীয় না হইয়া সমতল হয় তবে উহার বক্রতা-কেন্দ্র অসীমে (infinity) অবস্থিত হইবে।

(ii) **বক্রতা ব্যাসার্ধ** (Radius of curvature) : লেন্সের কোন তল যে গোলকের অংশ সেই গোলকের ব্যাসার্ধকে ঐ তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলা হয়। LMN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ C_1M এবং LPN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ হইবে C_2P (চিত্র নং 54)।

(iii) **প্রধান অক্ষ** (Principal axis) : যদি লেন্সের দুই তল গোলীয় হয় তবে উক্ত তলদ্বয়ের বক্রতা-কেন্দ্র দুইটিকে সংযুক্ত করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় উহাকে লেন্সের প্রধান অক্ষ বলে। 54 নং চিত্রে C_1 এবং C_2 দুই তলের বক্রতা-কেন্দ্র। সুতরাং C_1PMC_2 রেখা LN লেন্সের প্রধান অক্ষ (চিত্র নং 54)।

যদি লেন্সের একটি তল গোলীয় এবং অপরটি সমতল হয় তবে গোলীয় তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইতে সমতল তলের উপর লম্ব টানিলে উহাই ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ হইবে।

(iv) **আলোক কেন্দ্র** (Optical centre) ঃ যদি কোন আলোক-রশ্মি লেন্সের যে-কোন তলে এমনভাবে আপতিত হয় যে লেন্সের ভিতর দিয়া গিয়া দ্বিতীয় তল হইতে নির্গত হইবার সময় উহা আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নির্গত হয় তবে লেন্সের ভিতর ঐ রশ্মির গতিপথ প্রধান অক্ষকে যে-বিন্দুতে ছেদ করে সেই বিন্দুকে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বলে।

O বিন্দু লেন্সের আলোককেন্দ্র

চিত্র নং 54

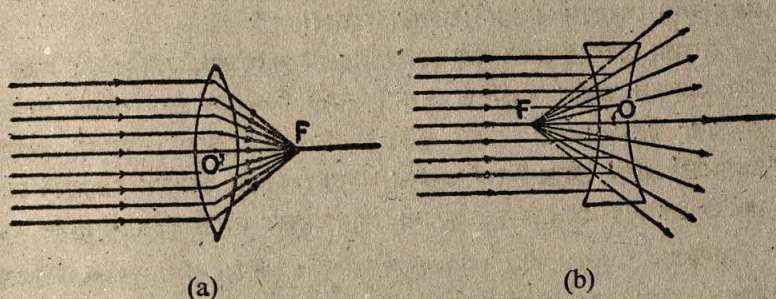
54 নং চিত্রে SA আলোকরশ্মি LMN তলে A বিন্দুতে আপতিত হইয়া লেন্সের ভিতরে AB পথে গমন করিল এবং BR পথে দ্বিতীয় তল হইতে SA অভিমুখের সমান্তরাল ভাবে নির্গত হইল। এক্ষেত্রে AB এবং প্রধান অক্ষ C_1C_2 এই রেখাদ্বয়ের ছেদবিন্দু O হইবে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র।

এখানে একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য এই যে, আপতিত রশ্মি SA এবং নির্গম (emergent) রশ্মি BR পরস্পরের সমান্তরাল বটে কিন্তু উহারা পরস্পর হইতে খানিকটা পাশে সরিয়া যায়—এক লাইনে থাকে না। এই পার্শ্ব-সরণ (lateral displacement) লেন্স পুরু হইলে বাড়িয়া যায় এবং লেন্স সরু হইলে কমিয়া যায়। খুব সরু লেন্সের বেলাতে এই পার্শ্বসরণ এতই নগণ্য যে SA, AB এবং BR একই সরলরেখা বলিয়া ধরা যাইতে পারে। একই কারণে সরু লেন্সের আলোককেন্দ্রের নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে ঃ

সরু লেন্সের বেলাতে ইহা প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত এমন এক বিন্দু যে উহার ভিতর দিয়া কোন আলোকরশ্মি গেলে উহার কোন চ্যুতি বা সরণ হয় না—উহা সোজা পথে লেন্সের ভিতর দিয়া চলিয়া যায়।

[**দ্রষ্টব্য** ঃ যদি লেন্সের উভয় তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ সমান হয় তবে আলোক-কেন্দ্র উভয় তল হইতে সমদূরবর্তী হইবে। যদি বক্রতা-ব্যাসার্ধ সমান না হয় অথবা কোন তল সমতল হয় তবে আলোক-কেন্দ্র উভয় তল হইতে সমদূরবর্তী হইবে না।]

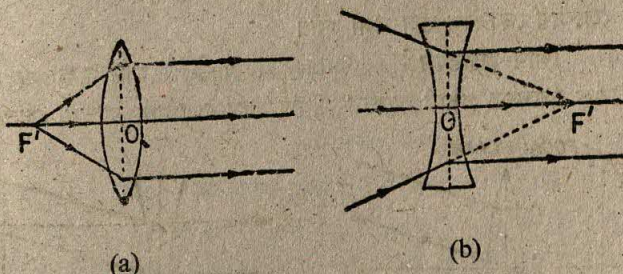
(v) **মুখ্য ফোকাস** (Principal focus) ঃ আমরা দেখিয়াছি যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালে আসিয়া লেন্সের উপর আপতিত হইলে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী অথবা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইলে (উত্তল লেন্সের বেলাতে) উহারা অক্ষের উপর অবস্থিত কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয় এবং অপসারী রশ্মিগুচ্ছে

পরিণত হইলে (অবতল লেন্সের বেলাতে) অক্ষের উপর অবস্থিত কোন এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় [চিত্র নং 55 (a) এবং (b)]। উক্ত

উত্তল এবং অবতল লেন্সের দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস

চিত্র নং 55

বিন্দুকে ঐ লেন্সের মুখ্য ফোকাস বলা হয়। 55 নং চিত্রে F বিন্দু লেন্সের মুখ্য ফোকাস।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে লেন্সের দুইটি মুখ্য ফোকাস থাকে। উপরে যে মুখ্য ফোকাসের কথা বলা হইল উহাকে **দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস** (second principal focus) বলা হয়। ইহা ছাড়া আর একটি মুখ্য ফোকাস আছে—ইহাকে **প্রথম মুখ্য ফোকাস** (first principal focus) বলে। নিম্নে ইহার ব্যাখ্যা করা হইল।

মনে কর, উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর F′ এমনই একটি বিন্দু যে উহা হইতে একগুচ্ছ রশ্মি অপসৃত হইয়া লেন্সের উপর আপতিত হইল এবং

উত্তল এবং অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস

চিত্র নং 56

প্রতিসরণের পর রশ্মিগুচ্ছ প্রধান-অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল [চিত্র নং 56 (a)]। এক্ষেত্রে F′-বিন্দুকে উত্তল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস বলা হইবে।

তেমনি, যদি একগুচ্ছ অভিসারী রশ্মিকে এমনভাবে একটি অবতল লেন্সের দিকে পাঠানো হয় যে লেন্সের অবর্তমানে উহারা লেন্সের প্রধান অক্ষস্থিত একটি

বিন্দু F′-এ মিলিত হইত কিন্তু লেন্স কর্তৃক প্রতিসরণের ফলে উহারা প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল তাহা হইলে F′ বিন্দুকে অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস বলিয়া গণ্য করা হইবে [চিত্র 56 (b)]।

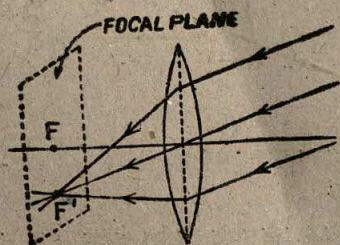
সুতরাং লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের সংজ্ঞা হিসাবে বলা যাইতে পারে যে ইহা লেন্সের প্রধান অক্ষস্থিত এমনই একটি বিন্দু যে উহা হইতে একগুচ্ছ অপসারী রশ্মি নির্গত হইয়া (উত্তল লেন্সের বেলাতে) অথবা একগুচ্ছ অভিসারী রশ্মি উহার দিকে অগ্রসর হইয়া (অবতল লেন্সের বেলাতে) লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হয়।

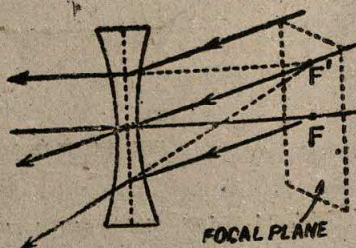
[**দ্রষ্টব্য** ঃ লেন্সের দুইটি মুখ্য ফোকাস থাকিলেও প্রতিবিম্ব গঠন সম্পর্কে দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস কার্যকর হয়। এই কারণে সাধারণত লেন্সের ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস বলিতে দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসকেই বুঝায়।]

(vi) **ফোকাস দূরত্ব** (Focal length) ঃ লেন্সের আলোককেন্দ্র O হইতে প্রধান অক্ষ বরাবর যে কোন মুখ্য ফোকাস F অথবা F′ পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস দূরত্ব বলে।

তবে, মনে রাখিতে হইবে যে লেন্সের উভয় পার্শ্বের মাধ্যম এক না হইলে O বিন্দু হইতে F এবং F′-এর দূরত্ব সমান হইবে না। সেক্ষেত্রে প্রথম মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে প্রথম ফোকাস-দূরত্ব (first focal length) এবং দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে দ্বিতীয় ফোকাস-দূরত্ব (second focal length) বলা হইবে।

(vii) **ফোকাস-তল** (Focal plane) ঃ কোন লেন্সের মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া এবং প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি তল (plane) কল্পনা করিলে উহাকে লেন্সের ফোকাস-তল বলা হয়।

(viii) **গৌণ ফোকাস** (Secondary focus) ঃ যদি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণ করিয়া লেন্সের উপর

F″ বিন্দু উত্তল লেন্সের গৌণ ফোকাস

চিত্র নং 57

F′ বিন্দু অবতল লেন্সের গৌণ ফোকাস

চিত্র নং 58

আপতিত হয় তবে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুলি অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় এবং ফোকাস-তলে কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয়। 57 নং চিত্রে F উত্তল লেন্সের মুখ্য ফোকাস এবং কাটা লাইন দিয়া ফোকাস-তল দেখানো হইয়াছে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর F′ বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। F′ উত্তল লেন্সের গৌণ ফোকাস।

তেমনি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি অবতল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণ করিয়া লেন্সের উপর আপতিত হইলে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুলি অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় এবং ফোকাস-তলের কোন এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। 58 নং চিত্রে F অবতল লেন্সের মুখ্য ফোকাস এবং কাটা লাইন দিয়া ফোকাস-তল দেখানো হইয়াছে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর F′ বিন্দু হইতে অপসৃত হইয়াছে বলিয়া মনে হয়। F′ অবতল লেন্সের গৌণ ফোকাস।

মনে রাখিতে হইবে যে লেন্সের (উত্তল অথবা অবতল) মুখ্য ফোকাস স্থির বিন্দু—কিন্তু গৌণ ফোকাস স্থির বিন্দু নয়।

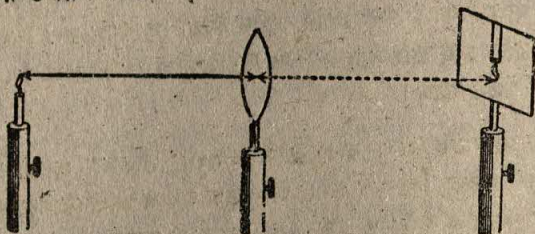
(ix) **উন্মেষ** (Aperture) ঃ লেন্সের আকার গোল। তাই সাধারণভাবে লেন্সের ব্যাসকে উহার উন্মেষের পরিমাপ বলিয়া ধরা হয়।

এই পুস্তকে যে লেন্স সম্বন্ধে আলোচনা করা হইবে উহার উন্মেষ ছোট অর্থাৎ আকারে উহা ছোট এবং খুব সরু বলিয়া ধরা হইবে।

4-6. লেন্স কর্তৃক বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন (Formation of image of an object by a lens) ঃ

আমরা জানি যে কোন বস্তু হইতে নির্গত আলোক-রশ্মি যদি প্রতিসৃত হয়, তবে ঐ প্রতিসৃত রশ্মি বস্তুর প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। প্রতিসৃত রশ্মিগুলি যদি কোন বিন্দুতে মিলিত হয় তবে ঐ বিন্দু হইবে বস্তুবিন্দুর **সদ্ প্রতিবিম্ব** এবং যদি কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তবে ঐ বিন্দু হইবে বস্তুবিন্দুর **অসদ্ প্রতিবিম্ব**। যেহেতু লেন্স একটি প্রতিসারক (refracting) মাধ্যম, অতএব লেন্স উপরিউক্ত পদ্ধতিতে বস্তুর প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিতে সক্ষম। প্রকৃতপক্ষে লেন্স দ্বারা আমরা বস্তুর সদ্ ও অসদ্—উভয় প্রকার বিম্ব তৈয়ারী করিতে পারি।

পরীক্ষা ঃ একটি মোমবাতির শিখা ও একটি দণ্ডে আবদ্ধ কাগজের পর্দা পরস্পর হইতে খানিকটা দূরে রাখ। এইবার অপর একটি দণ্ডে একটি উত্তল লেন্স আটকাও এবং পর্দা ও শিখার মাঝখানে বসাও। এইবার লেন্সকে

একটু অগ্র-পশ্চাৎ সরাও। দেখিবে লেন্সকে একটি বিশেষ জায়গায় রাখিলে কাগজের পর্দার উপর শিখার স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়িবে (59 নং চিত্র)।

উত্তল লেন্স শিখার প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিতেছে

চিত্র নং 59

4-7. জ্যামিতিক উপায়ে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় (Determination of the position of image by geometrical construction) ঃ

লেন্সের অক্ষস্থিত কোন বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে তাহা জ্যামিতিক উপায়ে নির্ণয় করিবার জন্য লেন্সের নিম্নলিখিত গুণাগুণগুলি মনে রাখিতে হইবে।

(ক) কোন রশ্মি যদি উত্তল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় অথবা অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের দিকে অগ্রসর হয় তবে লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর উহা লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যাইবে।

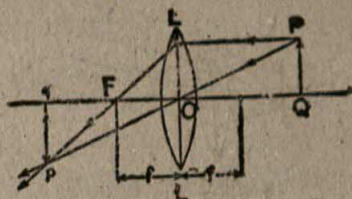
(খ) কোন রশ্মি যদি লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে অগ্রসর হইয়া লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে প্রতিসরণের পর উত্তল লেন্সের বেলাতে রশ্মি দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া যাইবে এবং অবতল লেন্সের বেলাতে রশ্মি দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে।

(গ) কোন রশ্মি লেন্সের আলোককেন্দ্রের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইলে, রশ্মির কোন বিচ্যুতি হইবে না—রশ্মি সরাসরি একই পথে চলিয়া যাইবে।

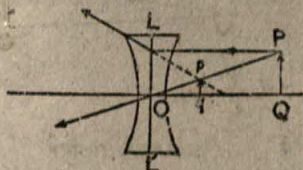
উপরিউক্ত তিনটি রশ্মির ভিতর যে কোন দুইটি রশ্মি ব্যবহার করিয়া প্রতিবিম্ব আঁকা যায় ; তবে কোন্ দুইটি রশ্মি লইতে হইবে, তাহা অবস্থার উপর নির্ভর করে।

(1) **উত্তল লেন্স** (Convex lens) ঃ LOL′ একটি সরু ও ছোট উত্তল লেন্স। PQ হইল লেন্সের অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত একটি বস্তু। ইহার [illegible]ম্ব জ্যামিতিক উপায়ে নির্ণয় করিতে হইবে [60 (*a*)নং চিত্র]।

[illegible] বস্তুকে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বস্তুবিন্দুর সমষ্টি বলিয়া মনে করা যাইতে [illegible] ধর, P এরূপ একটি বস্তু বিন্দু। P বিন্দু হইতে আলোক রশ্মি চতুর্দিকে

নির্গত হইবে। মনে কর, একটি রশ্মি PL লেন্সের অক্ষের সমান্তরালভাবে গিয়া লেন্সের উপর আপতিত হইল। এই রশ্মি লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর লেন্সের ফোকাস F বিন্দুর ভিতর দিয়া যাইবে। আর একটি রশ্মি PO লেন্সের আলোককেন্দ্র O-বিন্দুর মধ্য দিয়া গেলে প্রতিসৃত না হইয়া সোজাসুজি বাহির হইয়া আসিবে। এই দুইটি প্রতিসৃত রশ্মি p বিন্দুতে মিলিত হওয়ায় p বিন্দু হইবে P বিন্দুর সদ্‌বিম্ব। p বিন্দু হইতে লেন্সের অক্ষের উপর pq লম্ব টানিলে সমগ্র বস্তু PQ-র সদ্ প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণীত হইবে।

উত্তল লেন্স কর্তৃক সদ্ প্রতিবিম্ব গঠন

চিত্র নং 60 (a)

(2) **অবতল লেন্স** (Concave lens) ঃ পূর্বের মত একটি রশ্মি PL অক্ষের সমান্তরালভাবে গিয়া লেন্সের উপর পড়িলে এমনভাবে প্রতিসৃত হইবে যে মনে হইবে ফোকাস্ বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং, ঐ প্রতিসৃত রশ্মিকে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে ফোকাস বিন্দু অতিক্রম করিবে [60 (b) নং চিত্র]। অপর একটি রশ্মি PO লেন্সের আলোক-কেন্দ্র O বিন্দু দিয়া গেলে সোজাসুজি নির্গত হইবে। এই দুইটি প্রতিসৃত রশ্মি কখনও এক বিন্দুতে মিলিত হইবে না, কিন্তু পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে মনে হইবে, ইহারা p বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং p বিন্দু হইবে P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। p বিন্দু দিয়া অক্ষের উপর pq-লম্ব টানিলে সমগ্র বস্তু PQ-র অসদ্ প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণীত হইবে।

অবতল লেন্স কর্তৃক অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠন

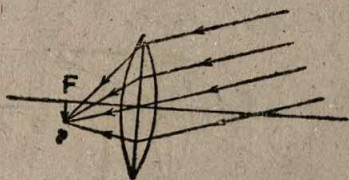
চিত্র নং 60 (b)

4-8. বস্তু-দূরত্বের বিভিন্নতায় বিভিন্ন প্রতিবিম্বের গঠন (Formation of different images due to different positions of the object) ঃ

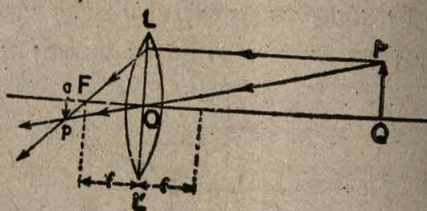
বস্তু-দূরত্ব বিভিন্ন হইলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি বিভিন্ন হয়। বস্তুকে বহুদূর হইতে লেন্সের খুব কাছে আনিলে প্রতিবিম্বের কিরূপ পরিবর্তন হয় নিম্নে জ্যামিতিক উপায়ে তাহার আলোচনা করা হইল।

(ক) **উত্তল লেন্স** ঃ

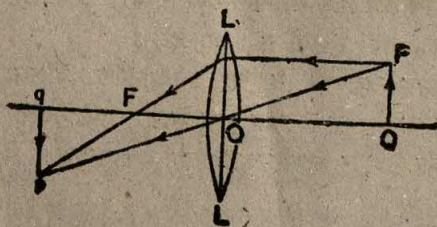
(1) **বস্তু অসীমে অবস্থিত** (Object at infinity) ঃ বস্তু অসীমে অবস্থিত হইলে তাহা হইতে যে রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হয় তাহারা পরস্পর সমান্তরাল ধরিয়া

লওয়া যাইতে পারে। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের অক্ষের সহিত সামান্য আনত (inclined) হইয়া লেন্সে আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর ফোকাস-তলে (focal plane) অবস্থিত কোন বিন্দু p-তে মিলিত হইবে (গৌণ ফোকাসের সংজ্ঞা দ্রষ্টব্য)। সুতরাং প্রতিবিম্ব লেন্সের ফোকাস-তলে অবস্থিত হইবে [61 (i) নং চিত্র]। এই প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টা ও খুব ছোট হইবে। এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য (objective) তৈয়ারী হয়।

বস্তু অসীমে থাকিলে প্রতিবিম্ব ফোকাস-তলে গঠিত হয়

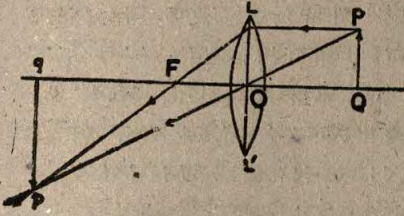
চিত্র নং 61 (i)

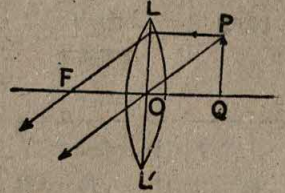
(2) **বস্তু লেন্স হইতে $2f$-এর চাইতে বেশী দূরে অবস্থিত ঃ** PQ একটি বস্তু [61 (ii)নং চিত্র]। P বিন্দু হইতে PL ও PO রশ্মি নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর p বিন্দুতে মিলিত হয়। p বিন্দু হইতে অক্ষের উপর pq লম্ব টানিলে PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব মিলিবে। চিত্র হইতে বোঝা যায় যে এই প্রতিবিম্ব f এবং $2f$-এর মাঝে অবস্থিত। ইহা সদ্, উল্টা এবং বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর। উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে ক্যামেরায় কার্যকর করা হয়।

বস্তু $2f$-এর বেশী দূরে, প্রতিবিম্ব f এবং $2f$-এর মধ্যে

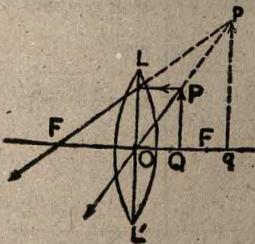
চিত্র নং 61 (ii)

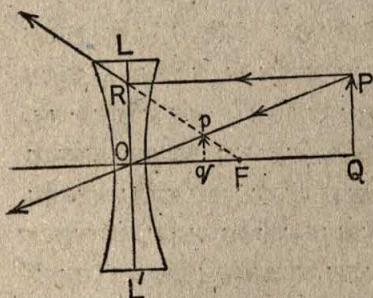
(3) **বস্তু লেন্স হইতে $2f$ দূরে অবস্থিত ঃ** 61 (iii) নং চিত্র হইতে বোঝা যায় যে প্রতিবিম্বও লেন্স হইতে $2f$ দূরে অবস্থিত। এই প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টা কিন্তু বস্তুর আকারের সমান। এইরূপ লেন্স ভৌম দূরবীক্ষণ (terrestrial telescope) যন্ত্রে উল্টা প্রতিবিম্বকে খাড়া করিবার জন্য ব্যবহৃত হয়।

বস্তু $2f$ দূরত্বে ; প্রতিবিম্ব $2f$ দূরত্বে

চিত্র নং 61 (iii)

(4) **বস্তু লেন্স হইতে f এবং $2f$-এর মাঝে অবস্থিত :** PQ একটি বস্তু [61 (iv) নং চিত্র]। বস্তুর প্রতিবিম্ব জ্যামিতিক পদ্ধতিতে নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে, প্রতিবিম্ব $2f$ হইতে দূরে অবস্থিত। এই প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টা কিন্তু বস্তু অপেক্ষা আকারে বড়। লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া ম্যাজিক লন্ঠন, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য প্রভৃতি যন্ত্র তৈয়ারী করা হয়।

বস্তু f এবং $2f$-এর মধ্যে
প্রতিবিম্ব $2f$-এর বেশী দূরে
চিত্র নং 61 (iv)

(5) **বস্তু ফোকাসে অবস্থিত :** 61 (v) নং চিত্রে PQ একটি বস্তু লেন্সের ফোকাসে অবস্থিত। এই অবস্থায় বস্তু হইতে নির্গত আলোকরশ্মি লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে এবং অসীমে প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। এই প্রতিবিম্ব অতিশয় বর্ধিত। যে-সমস্ত যন্ত্রে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ তৈয়ারী করিতে হয়, যেমন—বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র (spectrometer) সেখানে উত্তল লেন্সকে এইভাবে করা হয়।

বস্তু ফোকাস তলে ; প্রতিবিম্ব অসীমে
চিত্র নং 61(v)

(6) **বস্তু f ও লেন্সের মধ্যে অবস্থিত :** 61 (vi) নং চিত্রে PQ বস্তু লেন্সের ফোকাস দূরত্বের ভিতরে অবস্থিত। এস্থলে P বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর কোথাও মিলিত হয় না। কিন্তু পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে মনে হয় p বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং p বিন্দু হইবে P বিন্দুর অসদ্ প্রতিবিম্ব। pq হইবে সমগ্র অসদ্ প্রতিবিম্ব। চিত্র হইতে বোঝা যায় যে বস্তু যেদিকে এই বিম্ব সেইদিকে গঠিত হয় ; ইহা অসদ্, সোজা ও বস্তু অপেক্ষা আকারে বৃহত্তর। লেন্সের এই ব্যবহারকে প্রয়োগ করিয়া বিবর্ধক কাচ (magnifying glass), অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্র (eye-piece) তৈয়ারী হয়।

বস্তু ফোকাস দূরত্বের ভিতর
প্রতিবিম্ব অসদ্, সোজা ও বৃহত্তর
চিত্র নং 61 (vi)

(খ) **অবতল লেন্স ঃ** এক্ষেত্রে বস্তু যেখানেই অবস্থিত হউক না কেন প্রতিবিম্বের আকৃতি ও প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকে। প্রতিবিম্ব সর্বদা অসদ্, সোজা ও বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে এবং লেন্সের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত হইবে। 62নং চিত্রে অবতল লেন্স কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন দেখানো হইয়াছে।

অবতল লেন্স সর্বদা অসদ্‌বিম্ব গঠন করে
চিত্র নং 62

মনে রাখিবার সুবিধার জন্য উপরোক্ত ফলাফল নিম্নলিখিত ভাবে তালিকাবদ্ধ করা যাইতে পারে ঃ

লেন্স	বস্তুর অবস্থান	প্রতিবিম্বের অবস্থান	বস্তু সাপেক্ষে প্রতিবিম্বের সাইজ	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি
উত্তল	(i) অসীমে	ফোকাসে	অতিক্ষুদ্র	সদ্ ও অবশীর্ষ
	(ii) $2f$ এবং অসীমের মধ্যে	f এবং $2f$-এর মধ্যে	ক্ষুদ্রতর	সদ্ ও অবশীর্ষ
	(iii) $2f$	$2f$	সমান	,,
	(iv) f এবং $2f$-এর মধ্যে	$2f$ ছাড়াইয়া	বৃহত্তর	,,
	(v) f (ফোকাসে)	অসীমে	অতি বৃহৎ	,,
	(vi) f এবং আলোক কেন্দ্রের মধ্যে	বস্তুর দিকে	বৃহত্তর	অসদ্ ও সমশীর্ষ
অবতল	(i) অসীমে	ফোকাসে	ক্ষুদ্র	অসদ ও সমশীর্ষ
	(ii) অন্য যে কোন স্থানে	ফোকাস ও আলোক কেন্দ্রের মধ্যে	ক্ষুদ্র	,,

4-9. চিহ্নের নিয়ম (Convention of sign) ঃ

বিভিন্ন স্থানে লক্ষ্যবস্তু লইয়া বিভিন্ন প্রতিবিম্ব গঠনের যে-আলোচনা পূর্ব অনুচ্ছেদে করা হইল, তাহা হইতে দেখা যায় যে প্রতিবিম্ব কখনও কখনও লক্ষ্যবস্তু যেদিকে সেইদিকে হইতেছে—কখনও বা বিপরীত দিকে হইতেছে। সুতরাং বিভিন্ন বস্তু-দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব-দূরত্ব বিবেচনা করিতে গেলে, উহাদের যথোপযুক্ত

চিহ্ন (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) দিয়া লইতে হইবে। এই চিহ্ন দিবার নিয়ম নিম্নরূপ :

লক্ষ্যবস্তু, প্রতিবিম্ব অথবা ফোকাস-দূরত্ব মাপিতে গেলে সর্বদা লেন্সের আলোক-কেন্দ্র হইতে মাপিতে হইবে। আলোক-কেন্দ্র হইতে লক্ষ্যবস্তু, ফোকাস অথবা প্রতিবিম্বের দিকে অগ্রসর হইবার সময় যদি আপতিত আলোকরশ্মির অভিমুখের **বিপরীত** দিকে যাইতে হয় তবে উক্ত দূরত্ব **ধনাত্মক** (positive) ধরা হইবে এবং যদি আপতিত আলোকরশ্মির **অভিমুখের** দিকে যাইতে হয়, তবে উক্ত দূরত্ব ঋণাত্মক (negative) হইবে। 55 (a) নং চিত্রে উত্তল লেন্সের ফোকাস দেখানো হইয়াছে। ফোকাস দূরত্ব (focal length) O হইতে F পর্যন্ত। কিন্তু O হইতে F পর্যন্ত যাইতে গেলে আপতিত আলোর অভিমুখের দিকে যাইতে হয়, সুতরাং এই দূরত্ব ঋণাত্মক। কিন্তু অবতল লেন্সের বেলাতে O হইতে F পর্যন্ত যাইতে গেলে আপতিত আলোর অভিমুখের বিপরীত দিকে যাইতে হয় [55 (b) নং চিত্র]। অতএব, অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব ধনাত্মক।

4-10. লেন্সের সাধারণ সূত্র (General formula for lenses) :

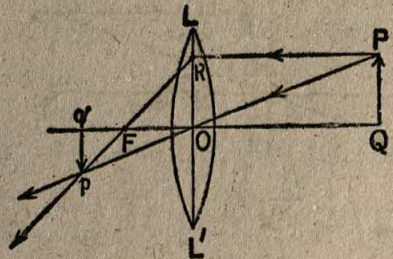
লেন্স কোন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিলে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র O হইতে লক্ষ্যবস্তু পর্যন্ত দূরত্বকে বস্তু-দূরত্ব (object distance) এবং প্রতিবিম্ব পর্যন্ত দূরত্বকে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব (image distance) বলা হয়। সাধারণত বস্তু-দূরত্বকে u অক্ষর দ্বারা এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্বকে v অক্ষর দ্বারা এবং ফোকাস-দূরত্বকে f অক্ষর দ্বারা বুঝানো হয়। এই রাশিগুলি পরস্পরের সঙ্গে সম্পর্ক-যুক্ত। এই সম্পর্ককে লেন্সের সাধারণ সূত্র বলা হয়। নিম্নলিখিত উপায়ে উত্তল এবং অবতল লেন্সের সাধারণ সূত্র প্রতিষ্ঠা করা যায়।

(i) **উত্তল লেন্স ও সদ্‌বিম্ব :** 63(a) নং চিত্র দেখ। LOL′ একটি সরু ও ছোট উত্তল লেন্স। লেন্সের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে PQ একটি লক্ষ্যবস্তু। 4·7 নং অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী প্রতিবিম্ব pq আঁকা হইয়াছে। প্রতিবিম্ব সদ্ ও অবশীর্ষ।

চিত্র নং 63 (a)

এখন, pqF এবং RFO ত্রিভুজ-দ্বয় সদৃশ (similar)। কাজেই,

$$\frac{pq}{Fq}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF} \quad [\because PQ=RO]$$

$$\therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Fq}{OF} \quad \ldots \ldots \quad (i)$$

আবার, pqO এবং PQO ত্রিভুজদ্বয়ও সদৃশ। সুতরাং

$$\frac{pq}{Oq}=\frac{PQ}{OQ} \quad \therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ} \quad .. \quad \text{(ii)}$$

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ দুইটি তুলনা করিলে, দেখা যায় যে,

$$\frac{Fq}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \text{ অথবা, } \frac{Oq-OF}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \quad .. \quad \text{(iii)}$$

63(a) চিত্রানুযায়ী, বস্তু-দূরত্ব→OQ$=+u$

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব→O$q=-v$

ফোকাস-দূরত্ব→OF$=-f$

(iii) নং সমীকরণে ইহা বসাইলে পাই, $\frac{-v-(-f)}{-f}=\frac{-v}{u}$

অথবা, $\frac{f-v}{-f}=\frac{-v}{u}$ অথবা $uf-uv=vf$; সমীকরণের উভয় দিক একই রাশি uvf দ্বারা ভাগ করিলে পাই, $\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u}$ অথবা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

ইহাই লেন্সের সাধারণ সূত্র।

(ii) **অবতল লেন্স ও অসদ্‌বিম্ব ঃ** 63(b) নং চিত্র দেখ। LOL′ একটি সরু ও ছোট অবতল লেন্স। লেন্সের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত PQ একটি লক্ষ্যবস্তু। 4·7 নং অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে প্রতিবিম্ব pq আঁকা হইয়াছে। এই প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সমশীর্ষ।

এখন, pqF এবং RFO ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ। কাজেই,

$$\frac{pq}{qF}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF} \quad [\because \; PQ=RO] \text{ অতএব, } \frac{pq}{PQ}=\frac{qF}{OF} \quad .. \quad \text{(i)}$$

আবার, pqO এবং QPO ত্রিভুজ দুইটিও সদৃশ।

$$\text{সুতরাং } \frac{pq}{Oq}=\frac{PQ}{OQ} \quad \therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ} \quad .. \quad \text{(ii)}$$

চিত্র নং 63 (b)

(i) এবং (ii) সমীকরণ দুইটি তুলনা করিয়া লেখা যাইতে পারে,

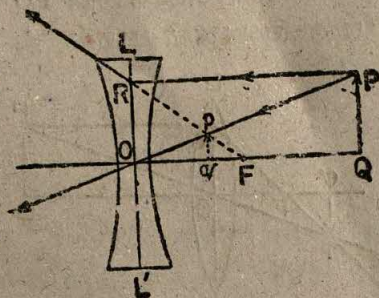
$$\frac{qF}{OF}=\frac{Oq}{OQ}$$

$$\text{অথবা, } \frac{OF-Oq}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \quad .. \quad \text{(iii)}$$

63(b) নং চিত্রানুযায়ী,

বস্তু-দূরত্ব→OQ$=+u$.

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব→O$q=+v$

ফোকাস-দূরত্ব→OF$=+f$

(iii) নং সমীকরণে ইহা বসাইলে পাই,

$$\frac{f-v}{f}=\frac{v}{u} \text{ অথবা, } uf-uv=vf$$

এই সমীকরণের উভয় দিক একই রাশি uvf দ্বারা ভাগ করিলে পাই,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u} \text{ অথবা, } \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

4-11. রৈখিক বিবর্ধন (Linear magnification) :

লেন্স দ্বারা বস্তুর যে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা বস্তুর অবস্থানের উপর নির্ভর করিয়া বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর বা ক্ষুদ্রতর হইতে পারে—অর্থাৎ লেন্সের বিবর্ধন ক্ষমতা (magnifying power) আছে। রৈখিক বিবর্ধন বলিতে প্রতিবিম্বের সাইজ ও বস্তুর সাইজের অনুপাত বুঝায়। অর্থাৎ,

$$\text{রৈখিক বিবর্ধন } (m)=\frac{\text{প্রতিবিম্বের সাইজ}}{\text{বস্তুর সাইজ}}$$

63(a) নং চিত্রে

$$m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{\text{প্রতিবিম্ব দূরত্ব}}{\text{বস্তু দূরত্ব}}$$

তেমনি, 63(b) নং চিত্রে

$$m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{\text{প্রতিবিম্ব দূরত্ব}}{\text{বস্তু দূরত্ব}}$$

সুতরাং যে-কোন লেন্সের বেলায় রৈখিক বিবর্ধন, $m=\frac{\text{প্রতিবিম্ব দূরত্ব}}{\text{বস্তু দূরত্ব}}=\frac{v}{u}$,

4-12. লেন্সের ক্ষমতা (Power of a lens) :

মনে কর, দুইটি উত্তল লেন্স আছে। একটির ফোকাস দৈর্ঘ্য কম এবং অপরটির অপেক্ষাকৃত বেশী। এখন যদি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি লেন্স দুইটির অক্ষের সমান্তরালভাবে আসিয়া আলাদাভাবে লেন্স দুইটির উপর পড়ে, তবে উহারা লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া ফোকাসবিন্দুতে একত্রিত হইবে। প্রথম লেন্সটির বেলায় ঐ বিন্দু লেন্সের যত কাছে হইবে দ্বিতীয় লেন্সের বেলায় তাহা হইবে না। এক্ষেত্রে বলা হয় প্রথম লেন্সের ক্ষমতা দ্বিতীয় লেন্স অপেক্ষা বেশী।

সংজ্ঞা : উত্তল লেন্সের ক্ষমতা বলিতে আমরা বুঝি যে ঐ লেন্স সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে লেন্সের কত কাছে একত্রিত করিতে পারে।

অনুরূপভাবে, অবতল লেন্সের ক্ষমতা বলিতে আমরা বুঝি যে ঐ লেন্স সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে কতখানি অপসৃত করিতে পারে।

লেন্সের ক্ষমতা যত বেশী হইবে অর্থাৎ সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে লেন্স যত বেশী অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করিবে তত উহার ফোকাস দৈর্ঘ্য ছোট হইবে। সুতরাং ক্ষমতা বৃদ্ধি পাইলে ফোকাস দৈর্ঘ্য হ্রাস পায় আবার ক্ষমতা হ্রাস পাইলে, ফোকাস দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়। এই কারণে লেন্সের ক্ষমতা D এবং ফোকাস দৈর্ঘ্য f হইলে, $D=\frac{1}{f}$.

যে লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য 100 cm. তাহার ক্ষমতাকে ক্ষমতার একক ধরা হয়। এই একক-কে বলা হয় ডায়প্টার (dioptre)। উত্তল লেন্সের ক্ষমতাকে ধনাত্মক এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতাকে ঋণাত্মক গণ্য করা হয়। D যদি ডায়প্টার এককে লেন্সের ক্ষমতা হয় এবং সেন্টিমিটার এককে f যদি লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য হয় তবে, $D=\frac{100}{f}$ অথবা, $f=\frac{100}{D}$; যে উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য 25 cm., তাহার ক্ষমতা$=+\frac{100}{25}=+4$ ডায়পটার; যে লেন্সের ক্ষমতা 2 ডায়পটার, তাহার ফোকাস দৈর্ঘ্য$=\frac{100}{2}=50$ cm.

4-13. উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a convex lens) ঃ

(i) **দূরের বস্তুর সাহায্যে** (Using a distant object) ঃ লেন্স-ধারকে (lens-holder) একখানি উত্তল লেন্স আটকাইয়া টেবিলের উপর রাখ এবং ঘরের যে-কোন জানালার মত উঁচু করিয়া জানালা হইতে বেশ কিছুদূরে স্থাপন কর। একখানা কাগজের পর্দা (paper screen) লেন্সের অপর পার্শ্বে রাখিয়া পর্দাকে লেন্সের দিকে কিংবা লেন্স হইতে দূরে অর্থাৎ অগ্র-পশ্চাৎ একটু একটু সরাও। দেখিবে যে পর্দার একটি বিশেষ অবস্থানে পর্দার উপর জানালার একটি ক্ষুদ্র অথচ স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়িয়াছে। পর্দা হইতে লেন্সের দূরত্ব স্কেলের সাহায্যে মাপ। উহাই হইবে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব। কারণ আমরা জানি যে দূরবর্তী বস্তু হইতে আগত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া লেন্সের ফোকাসবিন্দুতে একত্রিত হয় এবং তথায় একটি প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করে।

(ii) U-V **পদ্ধতিতে** ঃ 59 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ একটি মোমবাতি ও কাগজের পর্দার মাঝখানে একটি উত্তল লেন্স রাখ। মোমবাতির শিখার উচ্চতা এমন হওয়া উচিত যেন উহা লেন্সের অক্ষের উপর থাকে। এইবার লেন্সকে অগ্রপশ্চাৎ সরাও যাহাতে কাগজের পর্দায় শিখার একটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়ে।

এস্থলে শিখা হইতে লেন্সের দূরত্বকে বস্তু-দূরত্ব বা u বলা হইবে এবং লেন্স

হইতে কাগজের পর্দা পর্যন্ত দূরত্বকে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব বা v বলা হইবে। এই দূরত্ব স্কেল দ্বারা মাপ। সুতরাং u এবং v জানা থাকিলে $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ সমীকরণ হইতে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব f নির্ণয় করা যাইবে। এস্থলে একটি কথা স্মরণ রাখিতে হইবে যে প্রতিবিম্ব সদ্ হওয়ায় v ঋণাত্মক। কাজেই সমীকরণে v-এর মান বসাইবার সময় ঋণাত্মক চিহ্নসহ বসাইয়া হিসাব করিতে হইবে।

শিখার দূরত্ব বদলাইয়া ঐরূপ কয়েকবার পরীক্ষার পর f-এর গড় বাহির করিলে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব পাওয়া যাইবে।

উদাহরণ ঃ (1) একটি লক্ষ্যবস্তুকে কোন উত্তল লেন্স হইতে 50 cm. দূরে রাখা হইল। লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 20 cm. হইলে, প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে? লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য 3 cm. হইলে, প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য কত হইবে?

উত্তর। এক্ষেত্রে $u=50$ cm. ; $f=-20$ cm. ; (উত্তল লেন্সে বলিয়া ঋণাত্মক) ; $v=$?

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{50}=-\frac{1}{20}$

অথবা, $\frac{1}{v}=\frac{1}{50}-\frac{1}{20}=\frac{-3}{100}$ $\therefore$ $v=-\frac{100}{3}=-33{\cdot}3$ cm.

প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে লক্ষ্যবস্তুর বিপরীত দিকে (ঋণাত্মক চিহ্নের জন্য) 33·3 cm. দূরে অবস্থিত হইবে। এক্ষেত্রে, বিবর্ধন$=\frac{v}{u}=\frac{33{\cdot}3}{50}$

$\therefore$ প্রতিবিম্বের সাইজ=বিবর্ধন × বস্তুর সাইজ$=\frac{33{\cdot}3}{50}\times 3$ cm.

$=2$ cm. (প্রায়)।

(2) 3 cm. দীর্ঘ একটি লক্ষ্যবস্তু 20 cm. ফোকাস-দূরত্বসম্পন্ন অবতল লেন্স হইতে 10 cm. দূরে অবস্থিত। বিম্বের অবস্থিতি, দৈর্ঘ্য ও প্রকৃতি নির্ণয় কর।

উত্তর। এখানে, $u=10$ cm. ; $f=+20$ cm. (অবতল বলিয়া ধনাত্মক) ; $v=$? আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{10}=\frac{1}{20}$

অথবা, $\frac{1}{v}=\frac{1}{20}+\frac{1}{10}=\frac{3}{20}$ $\therefore$ $v=\frac{20}{3}=+6{\cdot}66$ cm.

প্রতিবিম্ব দূরত্ব ধনাত্মক হওয়ায়, উহা লেন্স হইতে 6·66 cm. দূরে বস্তু যেদিকে সেইদিকে গঠিত হইবে ; তাছাড়া প্রতিবিম্ব অসদ্।

এক্ষেত্রে বিবর্ধন$=\frac{v}{u}=\frac{6\cdot66}{10}=0\cdot666$; অতএব, প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য=বিবর্ধন×বস্তুর সাইজ$=0\cdot666\times3=1\cdot99$ cm. (প্রায়)।

(3) একটি উত্তল লেন্স হইতে 10 metre দূরে একখানি পর্দার উপর একটি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করিতে হইবে। বিবর্ধনের পরিমাণ 20 হইলে, লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত ?

উত্তর। এখানে প্রতিবিম্ব পর্দার উপর গঠিত হইতেছে বলিয়া উহা সদ্। আমরা জানি, সদ্ প্রতিবিম্ব বস্তু লেন্সের যে-দিকে থাকে তাহার বিপরীত দিকে গঠিত হয়। অর্থাৎ প্রতিবিম্ব দূরত্ব এক্ষেত্রে ঋণাত্মক।

আবার, বিবর্ধন 20 হওয়ায় $\frac{v}{u}=20$ অথবা $v=20.u$;

কিন্তু $v=10$ metre ; কাজেই $u=\frac{1}{2}$ metre.

এখন, $u=\frac{1}{2}$ metre ; $v=-10$ metre এবং $f=?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা, $-\frac{1}{10}-\frac{1}{\frac{1}{2}}=\frac{1}{f}$

অথবা, $-\left(\frac{1}{10}+2\right)=\frac{1}{f}$ $\therefore$ $f=-\frac{10}{21}$ metre$=-47\cdot6$ cm.

(4) একটি বস্তুকে একটি সরু উত্তল লেন্স হইতে 60 cm দূরে রাখিলে প্রতিবিম্ব লেন্সটির অপরদিকে ফোকাস-দূরত্বের 3 গুণ দূরত্বে গঠিত হয়। লেন্সটির ফোকাসদূরত্ব নির্ণয় কর। [*M. Exam., 1987*]

উ। এক্ষেত্রে $u=+60$ cm ; যেহেতু প্রতিবিম্ব লেন্সের অপরদিকে গঠিত হয় সেইহেতু প্রতিবিম্ব দূরত্ব ঋণাত্মক অর্থাৎ $v=-3f$ [f=লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য]

এখন, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা, $-\frac{1}{3f}-\frac{1}{60}=-\frac{1}{f}$ [লেন্স উত্তল বলিয়া f ঋণাত্মক] অথবা, $-\frac{1}{60}=-\frac{2}{3f}$ $\therefore$ $f=40$ cm.

4-14. সহজে লেন্স চিনিবার পদ্ধতি (Simple method of identification of lenses) ঃ

আমরা দেখিয়াছি, কোন লক্ষ্যবস্তুকে লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে অর্থাৎ খুব কাছে রাখিলে উহার অসদ্ ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হয় যদি লেন্স উত্তল হয় এবং অসদ্ ও ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব গঠিত হয় যদি লেন্স অবতল হয়। কাজেই

সহজ উপায়ে লেন্স চিনিতে হইলে লেন্সের খুব কাছে একটি আঙ্গুল রাখ এবং অপর দিক হইতে উহার প্রতিবিম্ব দেখ। যদি প্রতিবিম্ব আকারে বড় হয় তবে বুঝিতে হইবে লেন্স উত্তল। আর যদি প্রতিবিম্ব আকারে ছোট হয় তবে বুঝিতে **হইবে লেন্স অবতল।**

প্রশ্নাবলী

1. লেন্স কাহাকে বলে? উত্তল ও অবতল লেন্সের ভিতর তফাত কি? চিত্রদ্বারা বুঝাইয়া দাও কেন উহাদের যথাক্রমে অভিসারী ও অপসারী লেন্স বলে।

2. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা বুঝাইয়া লিখ :—

(ক) বক্রতা-কেন্দ্র, (খ) আলোক-কেন্দ্র, (গ) মুখ্য ফোকাস, (ঘ) ফোকাস-দূরত্ব, (ঙ) উন্মেষ।

3. একটি অভিসারী লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য বলিতে কি বোঝ? [*M. Exam.*, *1982*]

4. (a) উত্তল লেন্সের বিভিন্ন প্রকার ভেদ চিহ্ন সহযোগে ব্যাখ্যা কর। (b) লেন্সের আলোকীয় কেন্দ্র ও ফোকাস দৈর্ঘ্য কাহাকে বলে? (c) কিরূপে উত্তল লেন্সকে অনেকগুলি প্রিজমের সমষ্টি বলিয়া মনে করা যাইতে পারে? (d) ঐ লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তু দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব দূরত্বের ভিতর সাধারণ সম্পর্ক কি? (e) উত্তল লেন্স-সৃষ্ট প্রতিবিম্বকে কখন পর্দাতে ফেলা সম্ভব?

5. পরিষ্কার ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে উত্তল লেন্স সদ্ প্রতিবিম্ব ও অবতল লেন্স অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করে। [*cf. H. S. Exam.*, *1960*]

6. কোন লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত একটি বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিতে ঐ লেন্সের কি গুণাগুণ ব্যবহার করা সম্ভব? চিত্র সহযোগে তোমার উত্তর ব্যাখ্যা কর।

7. উত্তল লেন্সের সাহায্যে কিরূপে সদ্ বিম্ব গঠন করিবে? একটি দূরের বস্তুর সাহায্যে তুমি কিরূপে একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিবে? [*M. Exam.*, *1985*]

8. অভিসারী লেন্স কখন অসদ্ বিম্ব গঠন করে? উহার বিবর্ধন কত? [*M. Exam.*, *1982*]

9. নিম্নলিখিত প্রতিবিম্বগুলি পাইতে গেলে কোন্ ধরনের লেন্স ব্যবহার করিবে এবং বস্তু কোথায় রাখিবে, নির্দেশ কর :—

(ক) বিবর্ধিত সদ্ প্রতিবিম্ব, (খ) বিবর্ধিত অসদ্ প্রতিবিম্ব, (গ) ক্ষুদ্রতর সদ্ প্রতিবিম্ব, (ঘ) ক্ষুদ্রতর অসদ্ প্রতিবিম্ব, (ঙ) সমান আকারের সদ্ প্রতিবিম্ব। প্রত্যেক ক্ষেত্রে পরিষ্কার ছবি আঁক।

10. তোমাকে বলা হইল উত্তল এবং অবতল লেন্স দ্বারা কোন বস্তুর সোজা প্রতিবিম্ব গঠন করিতে হইবে। বস্তু কোথায় রাখিবে নির্দেশ কর এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে ছবি আঁকিয়া প্রতিবিম্ব গঠন বুঝাইয়া দাও।

11. একটি বস্তুকে একটি উত্তল লেন্স হইতে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও সাইজের কিরূপ পরিবর্তন হয় তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও। প্রত্যেক অবস্থানের ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।

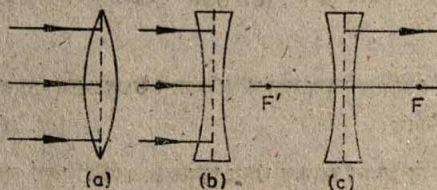
12. উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[*M. Exam.*, *1982*, *'84*]

13. উত্তল লেন্সকে বিবর্ধক কাচ হিসাবে কিভাবে ব্যবহার করা যায়, তাহা চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam.*, *1984*]

14. একটি লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব, লক্ষ্যবস্তু-দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব-দূরত্বের পারস্পরিক সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

15. লেন্স কর্তৃক প্রতিবিম্বের বিবর্ধন বলিতে কি বোঝ? প্রমাণ কর যে, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ও বস্তু-দূরত্বের অনুপাত বিবর্ধনের সমান।

16. নিচের চিত্রগুলি সম্পূর্ণ কর :—

(*a*) এবং (*b*) চিত্রে ফোকাস দৈর্ঘ্য চিহ্নিত কর।

Objective type :

17. উপযুক্ত শব্দের দ্বারা নিম্নলিখিত অসম্পূর্ণ বাক্যগুলি সম্পূর্ণ কর :

(a) 5 মিটার ফোকাস দৈর্ঘ্যের একখানি উত্তল লেন্সের ক্ষমতা —।

(b) 4 ডায়প্টর ক্ষমতাযুক্ত একটি অবতল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য —।

(c) ফোকাস দৈর্ঘ্য যত বেশী হয় লেন্সের ক্ষমতা তত — হয়।

(d) উত্তল লেন্স বস্তুর সমান সাইজের প্রতিবিম্ব গঠন করে যখন লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব হয় —।

(e) একটি — লেন্সকে বিবর্ধক কাচ হিসাবে ব্যবহার করা যায়।

18. শূন্য স্থান পূরণ করিয়া তালিকাকে সম্পূর্ণ কর ঃ

লেন্স	বস্তুর অবস্থান	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি
উত্তল	2f বিন্দুতে	..	..
	..	অসীমে	..
	..	..	অসদ্
	অসীমে	..	..

19. (a) হইতে (f) পর্যন্ত উক্তিগুলি নির্ভুল কি ভুল বল ঃ

(a) উত্তর লেন্স সর্বদা সদ্ বিম্ব গঠন করে।

(b) অবতল লেন্স সর্বদা অসদ্‌বিম্ব গঠন করে।

(c) উত্তল লেন্স সর্বদা বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে।

(d) অবতল লেন্স সর্বদা খর্বিত (diminished) প্রতিবিম্ব গঠন করে।

(e) উত্তল লেন্স সর্বদা উল্টানো প্রতিবিম্ব গঠন করে।

(f) অবতল লেন্স সর্বদা সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠন করে।

অঙ্ক ঃ

20. একটি অবতল লেন্স হইতে 50 cm. দূরে একটি বস্তু রাখা হইল। লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য 20 cm. হইলে, প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে? বিবর্ধন কি হইবে?

[Ans. 14·28 cm. বস্তুর দিকে ; 0·28 (প্রায়)]

21. একটি লক্ষ্যবস্তু একটি উত্তল লেন্স হইতে 15 cm. দূরে থাকিলে বস্তুর সাইজের দ্বিগুণ সদ্‌বিম্ব তৈয়ারী হয়। ঐ লেন্সে হইতে কত দূরে লক্ষ্যবস্তু রাখিলে বস্তুর সাইজের দ্বিগুণ অসদ্‌-বিম্ব তৈয়ারী হইবে?

[Ans. 5 cm.]

22. একটি লেন্স হইতে 50 cm. দূরে লক্ষ্যবস্তু রাখিলে লেন্সের অপর পার্শ্বে 200 cm. দূরে উহার প্রতিবিম্ব তৈয়ারী হয়। লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য কত? লেন্সটি কি ধরনের?

[Ans. 40 cm ; উত্তল]

23. একটি উত্তল লেন্স দ্বারা লেন্স হইতে 15 metre দূরে একখানি পর্দার উপর একটি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিতে হইবে। যদি বিবর্ধনের পরিমাণ 100 হয়, তবে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত?

[Ans. 14·86 cm.]

24. একটি 5 ডায়প্টার ক্ষমতাসম্পন্ন উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত?

[Ans. −20 cm.]

25. একটি সরু উত্তল লেন্স হইতে $\frac{3}{2}f$ দূরে উহার অক্ষের উপর রাখা একটি বস্তুর বিম্ব কোথায় সৃষ্ট হইবে? f=ফোকাস দূরত্ব।

[*M. Exam.*, *1988*] [Ans. −3f]

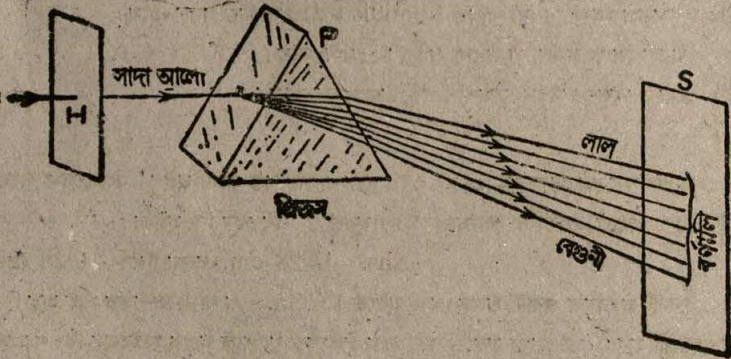
[সংকেত ঃ $\frac{1}{v}-\frac{2}{3f}=-\frac{1}{f}$]

আলোকের বিচ্ছুরণ
[Dispersion of light]

5-1. আলোকের বিচ্ছুরণ ঃ

1666 খ্রীষ্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী স্যার আইজাক নিউটন আলোকের বিচ্ছুরণ আবিষ্কার করেন। তিনি দেখিতে পান যে সূর্য-রশ্মি (সাদা আলো) কাচের প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিভক্ত হইয়া পড়ে।

পরীক্ষা ঃ একটি অস্বচ্ছ পর্দায় H একটি ছিদ্র (64 নং চিত্রে)। ছিদ্র দিয়া সাদা আলোক রশ্মি একটি প্রিজম P-এর উপর আপতিত হইল। আলোক-

সাদা আলো সাতটি রঙে বিভক্ত হইতেছে

চিত্র নং 64

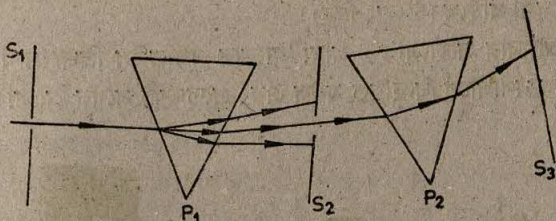
রশ্মি প্রিজম হইতে নির্গত হইয়া যখন একটি পর্দা S-এর উপর পড়িবে তখন পর্দায় বিভিন্ন বর্ণবিশিষ্ট একটি পটি (band) দেখিতে পাওয়া যাইবে।

উক্ত বর্ণবিশিষ্ট পটিকে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে উহাতে রামধনুর **সাতটি বর্ণ** বর্তমান এবং উহার একপ্রান্ত লাল অপর প্রান্ত বেগুনী। অন্যান্য বর্ণগুলি হইতেছে কমলা (orange), হলদে (yellow), সবুজ (green), নীল (blue), গাঢ়নীল (indigo)। এই বর্ণগুলির ক্রমিক অবস্থান ইংরেজী VIBGYOR (ভিবজিয়োর—প্রত্যেক বর্ণের আদ্যক্ষর লইয়া গঠিত) কথা হইতে পাওয়া যাইবে।

এই বর্ণবিশিষ্ট পটিকে **বর্ণালী** (spectrum) বলা হয়। প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে সাদা রঙের আলো বিশ্লিষ্ট হইয়া সাতটি বর্ণের আলোতে বিভক্ত হইবার প্রণালীকে বলা হয় **আলোকের বিচ্ছুরণ**।

বর্ণালী লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে বিভিন্ন বর্ণের আলোকের চ্যুতি (deviation) বিভিন্ন। বেগুনী বর্ণের আলোর চ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশী এবং লাল বর্ণের আলোর চ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম। ইহাকে অনেক সময় বলা হয় যে বিভিন্ন বর্ণের আলোকের **প্রতিসরণীয়তা** (refrangibility) বিভিন্ন। হল্‌দে বর্ণের চ্যুতি লাল ও বেগুনী বর্ণের চ্যুতির মাঝামাঝি বলিয়া হল্‌দে বর্ণের আলোককে বলা হয় মধ্যবর্তী (mean) রশ্মি।

ইহা মনে রাখা দরকার যে **প্রিজম বর্ণ সৃষ্টি করে না ; প্রিজম বর্ণগুলিকে বিচ্ছুরিত করে।** নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়।

S_1 পর্দার ছিদ্রের ভিতর দিয়া সূক্ষ্ম সাদা আলোকরশ্মি আসিয়া P_1 প্রিজমে পড়িল [চিত্র6 5]। প্রিজম ঐ সাদা রশ্মিকে সাতটি বর্ণে বিচ্ছুরিত করিবে। ঐ বর্ণ

চিত্র 65

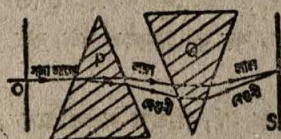
রশ্মিগুলি সামান্য বিচ্যুত হইয়া S_2 পর্দায় একটি বর্ণালী গঠন করিবে। S_2 পর্দাতে একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র আছে। S_2 পর্দার অবস্থান ঠিকমত নিয়ন্ত্রিত করিলে ঐ ছিদ্র দিয়া একটি বিশেষ বর্ণের আলোকরশ্মিকে নির্গত করানো যাইবে। ধর, হলদে রশ্মি ছিদ্র দিয়া নির্গত হইল। এইবার ঐ হলদে রশ্মি আর একটি প্রিজম P_2-তে গিয়া পড়িল। প্রিজম বর্ণ সৃষ্টি করিতে পারিলে, হলদে রশ্মি P_2 প্রিজম পার হইয়া আসিলে উহার বর্ণের পরিবর্তন হইত। কিন্তু হলদে রশ্মি P_2 প্রিজম পার হইয়া S_3 পর্দায় পড়িলে দেখা যাইবে উহা হল্‌দেই আছে ; বর্ণের কোন পরিবর্তন হয় নাই।

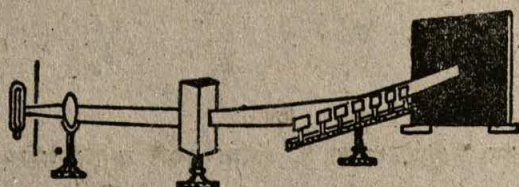
5-2. সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি (Composite nature of white light) :

সাদা আলো প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে যে সাতটি বর্ণের আলোতে বিভক্ত হয় তাহা প্রমাণ করে যে সাদা আলো **যৌগিক** (composite or compound)। এই সাত বর্ণের আলোক-রশ্মির যে-কোন একটিকে পুনরায় একটি প্রিজমের ভিতর দিয়া পাঠাইলে তাহার আর কোন বর্ণ-বিশ্লেষণ দেখা যায় না—অর্থাৎ ইহারা প্রত্যেকটি **একবর্ণ** (monochromatic) রশ্মি।

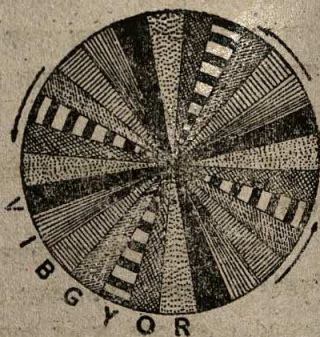
সাদা আলোর যৌগিক প্রকৃতি ভালভাবে প্রমাণিত হয় যদি সাতটি বর্ণের

রশ্মিকে মিশাইলে পুনরায় সাদা আলোক-রশ্মি পাওয়া যায়। নিম্নলিখিত বিভিন্ন উপায়ে সাদা আলোর পুনর্যোজনা করা যায়।

(1) **একই ধরনের দুইটি প্রিজম দ্বারা ঃ** P ও Q দুইটি একই ধরনের ও একই পদার্থে গঠিত প্রিজম পাশাপাশি উল্টা করিয়া বসানো। একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র O হইতে সাদা আলোক-রশ্মি P-প্রিজমের উপর আপতিত হইয়া বর্ণালীতে বিচ্ছুরিত হইবে কিন্তু বর্ণালীর বিভিন্ন রশ্মি Q প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে পুনর্যোজিত হইবে এবং নির্গত রশ্মি একটি পর্দা S-এর উপর পড়িলে সাদা রং-এর আলোরূপে দেখা যাইবে (66 নং চিত্র)।

বিভিন্ন বর্ণের পুনর্যোজনা
চিত্র নং 66

(2) **আয়নার সাহায্যে ঃ** সাদা আলোর সূর্য-রশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে বর্ণালীতে বিচ্ছুরিত হইল এবং প্রত্যেকটি বর্ণের আলো এক একটি

আয়নার সাহায্যে বিভিন্ন বর্ণের পুনর্যোজনা
চিত্র নং 67

প্রতিফলক আয়নার উপর এমনভাবে পড়িল যে প্রতিফলিত হইয়া সব বর্ণরশ্মিগুলি পর্দায় এক জায়গায় গিয়া মিশিল (67 নং চিত্র)। এইরূপে পুনর্যোজিত হইবার ফলে পর্দায় সাদা রং-এর আলো দেখা যাইবে।

(3) **নিউটনের বর্ণ চাক্‌তি** (colour disc) **দ্বারা ঃ** ইহা একটি কার্ড-বোর্ডের চাক্‌তি। চাক্‌তিকে সমান চার ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগে বর্ণালীতে যে ক্রমিক পর্যায়ে বর্ণগুলি সাজানো থাকে এবং যতখানি জায়গা দখল করে সেই অনুপাতে রং করা হয় (68 নং চিত্র)॥

নিউটনের বর্ণ চাক্‌তি
চিত্র নং 68

এইবার চাক্‌তিকে জোরে ঘুরাইলে কোন বিশেষ বর্ণ দেখা যাইবে না—

তৎপরিবর্তে চাক্‌তির বর্ণ সাদা মনে হইবে। ইহার কারণ এই যে, জোরে ঘুরিবার ফলে চোখে এক বর্ণের অনুভূতি থাকিতে থাকিতে অন্য বর্ণের অনুভূতি আসিয়া পড়ে এবং দৃষ্টিনির্বন্ধের (persistence of vision) জন্য সাতটি বর্ণ মিশিয়া সাদা রং-এর অনুভূতি সৃষ্টি করে।

5-3. অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালী (Impure and pure spectrum) ঃ

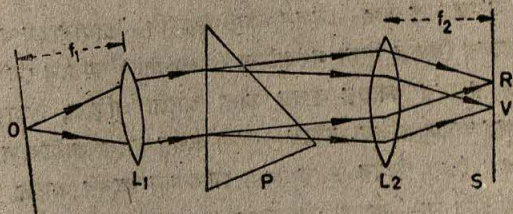
সাধারণভাবে আলোকরশ্মি প্রিজম কর্তৃক বিচ্ছুরিত হইয়া পর্দায় যে আলোক-পটি গঠন করে তাহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়, কারণ, এই বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ তাহাদের নিজস্ব জায়গা দখল করে না বা সকল বর্ণ পৃথক্‌ভাবে দৃশ্যমান হয় না। বর্ণালী অশুদ্ধ হইবার কারণ, একটি মাত্র আলোকরশ্মি পাওয়া সম্ভব নয়। যতই সূক্ষ্ম হউক না কেন, রশ্মিগুচ্ছে একের অধিক রশ্মি থাকিবে। সুতরাং গুচ্ছের প্রত্যেকটি রশ্মিই বিচ্ছুরিত হইয়া নিজস্ব বর্ণালী সৃষ্টি করিবে এবং পর্দায় বর্ণালীগুলি একটি আর একটির উপর গিয়া পড়িবে। তাই, বর্ণালীর সব বর্ণ পৃথক্‌ভাবে দেখা যায় না এবং বর্ণালী অশুদ্ধ হইয়া পড়ে।

একটি সাধারণ পরীক্ষার সাহায্যেও ইহা দেখানো যাইতে পারে। প্রিজম হইতে নির্গত আলোকরশ্মির পথে যদি কিছু ধোঁয়া সৃষ্টি করা যায় তবে ধোঁয়ার রং রশ্মিগুচ্ছের নিকট রঙীন দেখাইবে কিন্তু রশ্মিগুচ্ছের মাঝখানে রঙিন দেখাইবে না। কারণ, মাঝখানে বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি একটি আর একটির উপর পড়িয়া সাদা রংয়ের সৃষ্টি করে।

সংজ্ঞা ঃ যে-বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ পৃথক্ ও স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান হয় এবং বর্ণগুলি নিজস্ব জায়গা দখল করে তাহাকে **শুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়।

যে-বর্ণালী বিভিন্ন বর্ণ পৃথক্ ও স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান হয় না এবং বর্ণগুলি নিজস্ব জায়গা দখল করিয়া থাকে না, তাহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়।

শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের শর্ত ঃ 69 নং চিত্রে শুদ্ধ বর্ণালী গঠন পদ্ধতি দেখানো হইয়াছে। শুদ্ধ বর্ণালীর জন্য নিম্নলিখিত শর্তাদি প্রয়োজন ঃ

(i) খুব সূক্ষ্ম ছিদ্র O দিয়া সাদা আলোকরশ্মিকে পাঠাইতে হইবে যাহাতে সরু রশ্মিগুচ্ছ গঠিত হয়; ইহার ফলে বহু রশ্মি হইতে বিচ্ছুরিত বর্ণগুলির সমাপতন (superposition) হইবে না।

শুদ্ধ বর্ণালী গঠন ; চিত্র নং 69

(ii) প্রিজম P এবং ছিদ্র O-এর মাঝে একখানি উত্তল লেন্স L_1 এরূপভাবে রাখিতে হইবে যে ছিদ্র হইতে লেন্সের দূরত্ব লেন্সের ফোকাসদৈর্ঘ্য f_1-এর সমান হয়। ইহাতে লেন্স হইতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হইয়া P প্রিজমে পড়িবে এবং প্রত্যেক বর্ণের রশ্মিগুলি প্রিজম হইতে সমান্তরালভাবে নির্গত হইবে।

(iii) প্রিজমকে হলদে বর্ণের রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে বসাইতে হইবে। ইহাতে অন্যান্য বর্ণরশ্মিগুলির চ্যুতিও প্রায় ন্যূনতম হইবে।

(iv) পর্দা S এবং প্রিজম P-এর মধ্যে আর একখানি উত্তল লেন্স L_2 এরূপভাবে বসাইতে হইবে যে লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব লেন্সের ফোকাসদৈর্ঘ্য f_2-এর সমান হয়। ইহাতে বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুলি পর্দায় বিভিন্ন বিন্দুতে একত্রিত হইয়া শুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবে।

5-4. বিভিন্ন বস্তুর বর্ণ (Colour of different bodies) :

আমরা প্রতিদিন নানারকমের বর্ণের বস্তু দেখি। লাল ফুল, নীল কাপড়, সবুজ কাগজ ইত্যাদি বহু প্রকার বর্ণের জিনিস আমরা দেখিতে পাই। বিভিন্ন বর্ণের সৃষ্টি কিরূপে হয় জান কি?

যে সকল বস্তু অস্বচ্ছ, তাহারা যে বর্ণের আলোকরশ্মিকে প্রতিফলিত করে সেই রংয়ে রঙীন হয়। যেমন, লাল ফুল আমরা লাল দেখি কারণ সাদা আলো ঐ ফুলের উপর পড়িলে ফুল শুধু লাল বর্ণের আলো-কে প্রতিফলিত করে—অন্যান্য বর্ণের আলো শুষিয়া লয়। কিন্তু ঐ ফুলের উপর নীল রংয়ের আলো ফেলিলে ফুলকে আর লাল দেখাইবে না; কালো দেখাইবে; কারণ ফুল ঐ অবস্থায় লাল আলো প্রতিফলিত করিতে পারিবে না। তেমনি সবুজ কাপড় শুধু সবুজ বর্ণের আলো-কে প্রতিফলিত করিবে—অন্যান্য বর্ণের আলোক রশ্মিকে শুষিয়া লইবে। তবে কাপড় বা অন্যান্য জিনিস কালো বা সাদা দেখায় কেন? মনে রাখিতে হইবে যে **সাদা বা কালো কোন বিশেষ বর্ণ নয়।** কোন বর্ণ না থাকিলে জিনিস কালো দেখাইবে—আর সকল বর্ণ উপস্থিত থাকিলে ঐ জিনিসকে সাদা দেখাইবে। কালো কাপড়ের উপর যখন সাদা আলো পড়ে তখন ঐ কাপড় সাদা আলোর সাতটি রংয়ের আলোকরশ্মিকেই শুষিয়া লয়। আবার সাদা-কাপড়ের উপর পড়িলে সাতটি রংয়ের আলো-কেই প্রতিফলিত করে।

কিন্তু যে সকল বস্তু স্বচ্ছ—যেমন, কাচ ইত্যাদি—তাহারা যে বর্ণের আলোকরশ্মিকে নিজেদের ভিতর দিয়া সংবাহিত (transmit) করিবে সেই রংয়ে রঙিন হইবে। লাল রংয়ের কাচের উপর সাদা আলো পড়িলে, উহার ভিতর দিয়া শুধু লাল রংয়ের আলো চলিয়া যাইবে—অন্য বর্ণের আলো যাইবে না; তাই কাচকে লাল দেখাইবে। কিন্তু উহার উপর অন্য যে-কোন বর্ণের আলো পড়িলে কাচটি আর লাল দেখাইবে না—কালো দেখাইবে।

একখানি লাল কাচ এবং একখানি সবুজ কাচ পরপর রাখিয়া উহাদের সূর্যালোকের দিকে ধর। দেখিবে উহাদের কালো দেখাইতেছে। কারণ, প্রথম লাল কাচ লাল বর্ণের রশ্মিকে নিজের ভিতর দিয়া যাইতে দিবে; কিন্তু উহা যখন পরের সবুজ কাচের উপর পড়িবে তখন আর ঐ কাচের ভিতর দিয়া নির্গত হইতে পারে না। তাই, উহাদের একসঙ্গে রাখিলে কালো দেখাইবে। ইহা প্রমাণ করে, স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ ঐ বস্তুর ভিতর দিয়া নির্গত আলোক আলোক-রশ্মির বর্ণের উপর নির্ভর করে।

ইহা উল্লেখযোগ্য যে লাল, সবুজ এবং নীল-এই তিনটি বর্ণের বিভিন্ন অনুপাত লইয়া মিশ্রণ তৈয়ারী করিলে যে কোন বর্ণ সৃষ্টি করা যায়। তাই ইহাদের বলা হয় **প্রাথমিক বর্ণ**। তাছাড়া, দুটি বর্ণ মিশাইলে যদি সাদা আলোর সৃষ্টি হয় তবে তাহাদের **পরিপূরক বর্ণ** বলে। কমলা এবং নীল **পরিপূরক বর্ণ**।

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের বিচ্ছুরণ বলিতে কি বুঝায়? বর্ণালী কাহাকে বলে? [*M. Exam., 1982*]

2. প্রিজমের সাহায্যে কিভাবে শুদ্ধ বর্ণালী পাইবে বর্ণনা কর। রামধনুতে কি কি রং দেখা যায়? [*M. Exam., 1984, '88*]

3. সূর্যের সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি কিরূপে প্রমাণ করা যায়? [*M. Exam., 1982*]

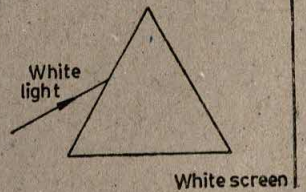
4. 'প্রিজম বর্ণ সৃষ্টি করে না; বিভিন্ন বর্ণকে বিচ্ছুরিত করে'—ব্যাখ্যা কর।

5. শুদ্ধ ও অশুদ্ধ বর্ণালী কাহাকে বলে? বর্ণালী অশুদ্ধ হইবার কারণ কি? শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের শর্ত কি?

6. লাল ফুল লাল দেখায় কেন? উহার উপর নীল আলো পড়িলে কিরকম দেখাইবে?

7. নিম্নলিখিত বস্তুগুলির উপর সাদা রশ্মির আলো পড়িলে কিরূপ দেখাইবে?
(i) কালো কাপড়, (ii) সাদা কাগজ, (iii) হলুদ ফুল।

8. প্রতিসরণীয়তার হিসাবে বর্ণালীর রংগুলি সাজাও। কোন্ বর্ণের প্রতিসরণীয়তা বেশী—লাল না বেগুনী?

9. 70 নং চিত্রে একটি সাদা আলোকরশ্মি সমবাহু ত্রিভুজাকৃতি প্রিজমে পড়িয়াছে। রশ্মির (i) বিচ্ছুরণ (ii) বিচ্যুতি দেখাইয়া চিত্রটি সম্পূর্ণ কর।

চিত্র 70

10. একটি অন্ধকার ঘরে ফুলদানিতে সবুজ পাতা সহ লাল গোলাপ রাখা আছে। গোলাপ এবং পাতার বর্ণ কিরূপ দেখাইবে যখন উহাদের উপর (i) সবুজ আলো (ii) লাল আলো এবং (iii) নীল আলো পড়ে?

11. সাদা আলোতে একটি বস্তু সবুজ দেখাইতেছে। ইহা ব্যাখ্যা কর।

12. নিম্নের উক্তিগুলির কারণ বল :

(a) সাদা আলোকরশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে সাতটি বর্ণে বিভক্ত হয়। (b) দ্রুতবেগে ঘূর্ণায়মান বর্ণচাক্তি চোখে প্রায় সাদা মনে হয়। (c) একটি লাল কাচপ্লেটের উপর সবুজ কাচপ্লেট রাখিয়া সাদা আলোতে দেখিলে কালো দেখায়। (d) লাল, নীল এবং সবুজ বর্ণকে প্রাথমিক বর্ণ বলা হয়। (e) সাদা আলোর প্রকৃতি যৌগিক।

● Objective type :

13. (a) লাল, নীল এবং সবুজ বর্ণের মিশ্রণ চোখে যে অনুভূতির সৃষ্টি করিবে তাহা—(i) নীলচে সবুজ (ii) লালচে নীল (iii) লালচে সবুজ (iv) সাদা।

(b) নীল ওভারকোটে সুতার রং মিলাইয়া সেলাই করিতে হইলে দরজিকে কাজ করিতে হইবে—(i) হলদে আলোতে (ii) নীল আলোতে (iii) জানালার কাছে (iv) আধো-অন্ধকারে।

(c) একখানি কাগজকে লাল আলোতে লাল কিন্তু নীল আলোতে কালো দেখায়। দিনের আলোতে দেখিলে উহাকে—(i) বর্ণহীন দেখাইবে (ii) নীল দেখাইবে (iii) সাদা দেখাইবে (iv) লাল দেখাইবে।

(d) লাল কাচের ভিতর দিয়া গাছের পাতা দেখিলে পাতার রং হইবে—(i) প্রায় কালো (ii) পাতা প্রায় দেখাই যাইবে না (iii) প্রকৃত রং দেখা যাইবে (iv) নীলচে দেখাইবে।

14. নীচের তালিকার শূন্যস্থান পূরণ কর :

দিনের আলোতে	নীলবর্ণের আলোতে	হলদে বর্ণের আলোতে	অন্ধকারে
হল্‌দে	..	..	..
নীল	..	..	..
সাদা	..	..	..
কালো	..	..	..

চুম্বক বিজ্ঞান

চুম্বকের সাধারণ ধর্ম

(General properties of magnets)

1-1. প্রাকৃতিক চুম্বক ও চুম্বকত্ব (Natural magnets and magnetism) ঃ

বহু প্রাচীনকাল হইতে লৌহ ও অক্সিজেন দ্বারা তৈয়ারী একপ্রকার খনিজ পদার্থের কথা লোকের জানা ছিল যাহা ছোট ছোট লৌহখণ্ডকে আকর্ষণ করিতে পারিত। এই পদার্থের নাম magnetite। এই পদার্থটি এশিয়া মাইনরের ম্যাগনেশিয়া অঞ্চলে প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায়। মনে হয় এই কারণেই উক্ত পদার্থটির নাম হইয়াছে magnetite. **লৌহকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা থাকার দরুন** magnetite-**কে চুম্বক বলা হয়।**

খনিজ দ্রব্য বলিয়া উক্ত পদার্থকে বলা হয় **প্রাকৃতিক চুম্বক**। যে ধর্মের জন্য উহা অন্য একটি লোহার টুকরাকে আকর্ষণ করে সেই ধর্মকে বলা হয় চুম্বকত্ব (magnetism)।

লৌহকে আকর্ষণ করা ছাড়া প্রাকৃতিক চুম্বকের আর একটি ধর্ম আছে। তাহাকে বলা যাইতে পারে **দিক্ নির্দেশক ধর্ম** (directive property)। একটি প্রাকৃতিক চুম্বককে যদি মুক্ত অবস্থায় (freely) ঝুলানো যায় তবে দেখা যায়, উহা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণদিকে মুখ করিয়া আছে। নাড়াইয়া দিলে কিছুক্ষণ আন্দোলনের পর যখন স্থির হইবে তখন দেখা যাইবে, উহা পূর্বের মত উত্তর-দক্ষিণমুখী হইয়াছে। এই কারণে প্রাকৃতিক চুম্বককে পথ-প্রদর্শক প্রস্তর বা loadstone বলা হয়। সুতরাং মুক্ত-অবস্থায় ঝুলানো প্রাকৃতিক চুম্বককে দিক্‌নির্দেশের জন্য ব্যবহার করা যাইতে পারে। প্রকৃতপক্ষে বহুপূর্বে সমুদ্রে নাবিকেরা দিক্‌ভ্রান্ত হইলে এই উপায়ে দিক্‌নির্দেশ করিত। কথিত আছে, চীনদেশে সর্বপ্রথম এই পদ্ধতিতে দিক্‌নির্দেশ করা হইত।

সুতরাং প্রাকৃতিক চুম্বকের দুইটি ধর্ম ঃ (1) **আকর্ষণী ধর্ম ও** (2) **দিক্-নির্দেশক ধর্ম।**

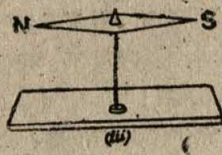
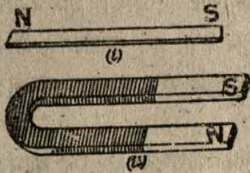
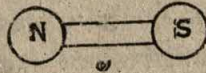
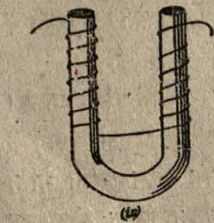
1-2. কৃত্রিম চুম্বক (Artificial magnets) ঃ

প্রাকৃতিক চুম্বকের বিশেষ কোন আকার থাকে না এবং তাহার চুম্বকত্বও খুব শক্তিশালী নয়। কিন্তু কয়েকটি বিশেষ প্রক্রিয়ার সাহায্যে কিছু কিছু ধাতব পদার্থকে (যেমন—লৌহ, ইস্পাত, নিকেল ইত্যাদি) চুম্বকে পরিণত করা যায়। ইহাদের বলা হয় **কৃত্রিম চুম্বক**। কৃত্রিম চুম্বক বিভিন্ন আকারের হইতে পারে।

ইহাদের চুম্বকত্ব খুব শক্তিশালী হয়। বিভিন্ন আকারের কৃত্রিম চুম্বকের পরিচয় নিম্নে দেওয়া হইল।

(1) **দণ্ড-চুম্বক** (Bar magnet) ঃ ইহা একটি আয়তাকার চুম্বকিত ইস্পাতের দণ্ড। [1 (i) নং চিত্র]

(2) **অশ্ব-খুর চুম্বক** (Horse-shoe magnet) ঃ ইহা একটি ইস্পাতের চুম্বকদণ্ড অশ্ব-খুরের ন্যায় বাঁকানো। ইহার দুইটি মুখ পাশাপাশি থাকে [1 (ii) নং চিত্র]।

(3) **চুম্বক শলাকা** (Magnetic needle) ঃ ইহা একটি খুব হাল্কা ইস্পাতের চুম্বকিত পাত একটি খাড়া দণ্ডের উপর মুক্ত অবস্থায় রক্ষিত। ইহার দুই প্রান্ত ছুঁচালো। ইহা ইচ্ছামত বাধাহীনভাবে অনুভূমিক তলে নড়াচড়া করিতে পারে। [1 (iii) নং চিত্র]।

বিভিন্ন আকারের কৃত্রিম চুম্বক ; চিত্র নং 1

(4) **তড়িৎ-চুম্বক** (Electromagnet) ঃ ইহা একটি কাঁচা (soft) লোহার দণ্ড U-অক্ষরের ন্যায় বাঁকানো। ইহার গায়ে অন্তরিত (insulated) তামার তার জড়ানো। এই তামার তার দিয়া যতক্ষণ তড়িৎস্রোত প্রবাহিত হয় ততক্ষণ লৌহ-দণ্ড শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয়। যখনই তড়িৎ-স্রোত বন্ধ করা হয় তৎক্ষণাৎ ইহার চুম্বকত্বও অন্তর্হিত হয়। [1 (iv) নং চিত্র]।

(5) **প্রান্তে বল-সমন্বিত চুম্বক** (Ball-ended magnet) ঃ ইহা একটি গোল প্রস্থচ্ছেদযুক্ত চুম্বক-দণ্ড। ইহার দুই প্রান্তে দুইটি গোলাকার বল যুক্ত থাকে [1 (v) নং চিত্র]।

1-3. চুম্বক সম্পর্কিত প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা ঃ

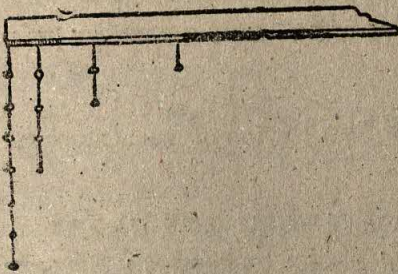
(1) **চুম্বকের মেরু** (Poles of a magnet) ঃ **কোন চুম্বকের দুই প্রান্তে যে স্থানে চুম্বকের আকর্ষণী শক্তি সর্বাপেক্ষা প্রবল তাহাকে চুম্বকের মেরু বলে।** পরবর্তী পরীক্ষা দ্বারা সহজে প্রমাণ করা যায় যে চুম্বকের আকর্ষণী শক্তি সর্বত্র সমান নয়---প্রান্তের কাছাকাছি স্থানে ইহা সর্বাপেক্ষা প্রবল।

পরীক্ষা ঃ একটি চুম্বক-দণ্ড লইয়া উহাকে কিছু লৌহ চূর্ণের ভিতর ডুবাও। দণ্ডটি তুলিয়া আনিলে দেখা যাইবে, ইহার দুই প্রান্তে প্রচুর লৌহচূর্ণ লাগিয়া

আছে কিন্তু দণ্ডের মাঝখানে কোন চূর্ণ নাই (2 নং চিত্র)। ইহা প্রমাণ করে চুম্বকের আকর্ষণী শক্তি দুই প্রান্তে খুব তীব্র।

দণ্ডের প্রান্তে চূর্ণ লাগিয়া আছে কিন্তু মাঝখানে কোন চূর্ণ নাই।

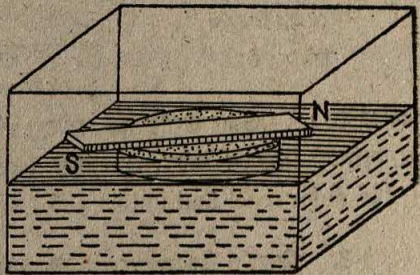
চিত্র নং 2

আবার কিছু ছোট ছোট কাঁচা লোহার পেরেক লইয়া চুম্বক-দণ্ডের গায়ে লাগাইলে দেখা যাইবে বেশী সংখ্যক পেরেক শিকলের ন্যায় দণ্ডের প্রায় প্রান্ত হইতে ঝুলানো যাইবে কিন্তু যতই দণ্ডের মাঝখানে আসা যাইবে ততই পেরেকের সংখ্যা কমিয়া যাইবে (3 নং চিত্র)।

যতই দণ্ডের মাঝখানে যাইবে পেরেকের সংখ্যা তত কমিবে

চিত্র নং 3

এই সমস্ত পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় চুম্বকের মাঝখানে কোন আকর্ষণী শক্তি নাই এবং প্রান্তদেশে আকর্ষণী শক্তি সর্বাপেক্ষা বেশী।

প্রকৃতপক্ষে চুম্বকের মেরুদ্বয় বিন্দু নহে; দেখা যায় যে, আকর্ষণী শক্তি দুই প্রান্তের কিছু জায়গায় বিস্তৃত। কিন্তু আলোচনার সুবিধার জন্য মেরু-দ্বয়কে বিন্দুবৎ কল্পনা করিয়া লওয়া হয়। একথা সর্বদা মনে রাখিতে হইবে **চুম্বকের মেরুদ্বয় দণ্ডের ঠিক প্রান্তে অবস্থিত নয়; প্রান্তের কাছাকাছি কোন স্থানে অবস্থিত।**

কোন চুম্বককে যদি মুক্ত অবস্থায় ঝুলানো যায় তবে দেখা যায় ইহার একটি নির্দিষ্ট মেরু সর্বদা উত্তরমুখী এবং অপর মেরু দক্ষিণমুখী হয়। অথবা যদি একটি দণ্ড-চুম্বককে একখণ্ড কর্কের উপর রাখিয়া উহাকে জলে ভাসাও তবে দেখিবে সর্বদা একটি নির্দিষ্ট মেরু উত্তর-মুখী এবং অপরটি দক্ষিণ-মুখী হইবে (4 নং চিত্র)। এই কারণে প্রথম মেরুকে বলা হয় **উত্তর-সন্ধানী** (north-seeking) বা সোজা-সুজি **উত্তর মেরু** (north pole) এবং

ভাসমান চুম্বক সর্বদা উত্তর দক্ষিণমুখী থাকে

চিত্র নং 4

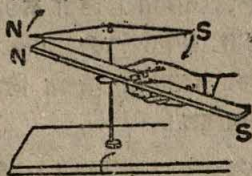
দ্বিতীয় মেরুকে বলা হয় **দক্ষিণ-সন্ধানী** (south-seeking) বা **দক্ষিণমেরু** (south pole)।

(2) **চৌম্বক অক্ষ** (Magnetic axis) ঃ **চুম্বকের মেরুদ্বয়কে যোগ করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তাহাকে চৌম্বক অক্ষ বলে।**

চৌম্বক অক্ষের মধ্যবিন্দু হইতে অক্ষের উপর লম্ব টানিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তাহাকে **নিরপেক্ষ রেখা** (neutral line). বলা হয়।

(3) **চুম্বকের কার্যকর দৈর্ঘ্য অথবা চৌম্বক দৈর্ঘ্য** (Effective length or the magnetic length of a magnet) ঃ পূর্বে বলা হইয়াছে চুম্বকের মেরু-দ্বয় চুম্বকের ঠিক প্রান্তদেশে অবস্থিত নয়, প্রান্তদেশের কাছাকাছি অবস্থিত। **এই মেরুদ্বয়ের ভিতরের দূরত্বকে বলা হয় চুম্বকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বা চৌম্বক দৈর্ঘ্য।** এই দৈর্ঘ্য চুম্বকের প্রকৃত দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কিছু ছোট। প্রকৃতপক্ষে কার্যকর দৈর্ঘ্য প্রকৃত দৈর্ঘ্যের $\frac{5}{8}$ ভাগ।

1-4. মেরুদ্বয়ের ভিতর পারস্পরিক ক্রিয়া (Action of magnetic poles on each other) ঃ

পরীক্ষা ঃ উত্তর (N) ও দক্ষিণ (S) মেরুচিহ্নিত একটি দণ্ড-চুম্বক ও একটি চুম্বক-শলাকা লও। দণ্ড চুম্বকের N-মেরু চুম্বক-শলাকার N-মেরুর কাছে লইয়া গেলে পরস্পরের ভিতর বিকর্ষণ দেখা যাইবে অর্থাৎ, চুম্বক-শলাকার N-মেরু দণ্ড-চুম্বক হইতে দূরে সরিয়া যাইবে (5 নং চিত্র)। এইবার দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু চুম্বক শলাকার S-মেরুর কাছে লইয়া গেলে পরস্পরের ভিতর আকর্ষণ দেখা যাইবে।

সমমেরুর বিকর্ষণ

চিত্র নং 5

দণ্ড-চুম্বকের S-মেরু লইয়া অনুরূপভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে উহা চুম্বক-শলাকার N-মেরুকে আকর্ষণ ও S-মেরুকে বিকর্ষণ করিতেছে। সুতরাং উপরিউক্ত পরীক্ষা হইতে বলা যাইতে পারে **দুইটি সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ও দুইটি বিষম মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে** (Like poles repel and unlike poles attract each other)।

1-5. বিকর্ষণ চুম্বকত্বের প্রকৃষ্ট প্রমাণ (Repulsion is the surer test of magnetisation) ঃ

কোনও দণ্ড চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হইয়াছে কি-না তাহা বিকর্ষণ দ্বারাই প্রকৃষ্টভাবে প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা ঃ একটি চুম্বক-শলাকা লও। এইবার দণ্ডের যে-কোন প্রান্ত চুম্বক-শলাকার যে-কোন মেরুর কাছাকাছি আন। যদি আকর্ষণ লক্ষিত হয়, তবে দণ্ডের চুম্বকত্ব সম্বন্ধে কিছু স্থির সিদ্ধান্ত করা সম্ভব নয়। কারণ আকর্ষণ দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরুর ভিতর হয়, আবার চুম্বক এবং যে-কোন চৌম্বক পদার্থ (magnetic substance) যেমন, সাধারণ লোহার ভিতরেও হয়। সুতরাং দণ্ড চুম্বক হইতে পারে অথবা চৌম্বক পদার্থও হইতে পারে।

কিন্তু যদি বিকর্ষণ লক্ষিত হয় তবে দণ্ড যে চুম্বক সে সম্বন্ধে স্থির সিদ্ধান্ত সম্ভব। কারণ বিকর্ষণ সমমেরু ছাড়া আর কাহারও ভিতর হয় না। সুতরাং দণ্ডটির যে-প্রান্ত চুম্বক-শলাকার যে মেরুর কাছে আনা হইল তথায় সমমেরু অবস্থিত আছে অর্থাৎ দণ্ড একটি চুম্বক।

1-6. চুম্বক (Magnet), **চৌম্বক** (Magnetic) **ও অচৌম্বক** (Non-magnetic) **পদার্থের ভিতর পার্থক্য ঃ**

(1) যে পদার্থের লোহা, ইস্পাত প্রভৃতি বস্তুকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা আছে এবং মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইয়া দিলে একটি নির্দিষ্ট দিকে মুখ করিয়া থাকে তাহাকে চুম্বক বলা হয়।

যে সমস্ত পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয় তাহাদের চৌম্বক পদার্থ বলে। যেমন--লোহা, ইস্পাত, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি।

যে সমস্ত পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত বা বিকর্ষিত হয় না অর্থাৎ, চুম্বক দ্বারা প্রভাবিত হয় না তাহাদের অচৌম্বক পদার্থ বলা হয়। যেমন---সোনা, রূপা, কাঠ ইত্যাদি।

(2) চুম্বকের দুইটি নির্দিষ্ট মেরু আছে এবং মুক্তভাবে ঝুলাইলে সর্বদা একটি মেরু উত্তরমুখী ও অন্যটি দক্ষিণমুখী হয়।

চৌম্বক ও অচৌম্বক পদার্থের কোন মেরু থাকে না। মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইলে ইহারা যে-কোন দিকে মুখ করিয়া থাকিতে পারে।

(3) চুম্বক দ্বারা চৌম্বক পদার্থকে কয়েকটি সহজ প্রণালীতে চুম্বকে পরিণত করা যায় কিন্তু অচৌম্বক পদার্থকে তাহা করা যায় না।

(4) চুম্বকের কোন নির্দিষ্ট মেরু অপর একটি চুম্বকের সমমেরুকে বিকর্ষণ করে এবং বিষম মেরুকে আকর্ষণ করে ; কিন্তু চৌম্বক পদার্থ দ্বিতীয় চুম্বকের উভয় মেরু দ্বারাই আকর্ষিত হয়।

1-7. স্থায়ী ও অস্থায়ী চুম্বক (Permanent and temporary magnets) **ঃ**

যে পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিলে তাহা বহুদিন ধরিয়া চুম্বকত্ব বজায় রাখিতে পারে, তাহাকে স্থায়ী চুম্বক বলা হয়, যেমন---টাংগস্টেন স্টীলকে (টাংস্টেন ও স্টীলের সংকর ধাতু) চুম্বকত্ব প্রদান করিলে স্থায়ী মেরুর উৎপত্তি হয়।

যে পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিলে উহা বেশীদিন চুম্বকত্ব বজায় রাখিতে পারে না তাহাকে অস্থায়ী চুম্বক বলে। যেমন—কাঁচা লোহার দণ্ডকে বেশ শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করা যায় কিন্তু বেশীদিন তাহার চুম্বকত্ব স্থায়ী হয় না।

স্থায়ী চুম্বকের কথা বলিলে স্বভাবতই আমাদের লোহা ও ইস্পাতের কথা মনে পড়ে। কিন্তু সম্প্রতি দেখা গিয়াছে কতকগুলি সংকর ধাতু স্থায়ী চুম্বকের কাজ ভালভাবেই করিতে পারে। অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল ও কোবাল্ট-মিশ্রিত সংকর ধাতু Alnico খুব ভাল চৌম্বক পদার্থ। ইহাকে স্থায়ী চুম্বক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। ইহা ছাড়া লৌহ ও সিলিকন-মিশ্রিত সংকর ধাতু Stalloy, লৌহ ও নিকেলমিশ্রিত Permalloy প্রভৃতিও ভাল স্থায়ী চুম্বক।

উপরের তালিকা হইতে দেখা যায় যে লৌহ-মিশ্রিত সংকর ধাতু খুব ভাল স্থায়ী চুম্বক। কিন্তু সব সময় অন্য ধাতুর সহিত লোহা মিশাইলে ভাল চুম্বক হইবে একথা ঠিক নয়। যেমন, 12% ম্যাংগানীজ এবং 88% লোহা মিশাইলে যে সংকর ধাতু তৈয়ারী হয় তাহা চৌম্বক পদার্থ নয়—অচৌম্বক পদার্থ। এই সংকর ধাতুকে বলা হয় হ্যাডফিল্ড ম্যাংগানীজ স্টীল (Hadfield manganese steel)।

আবার কয়েকটি দুর্বল চুম্বক পদার্থের সংমিশ্রণে চৌম্বক সংকর ধাতু গঠন করা যায়। কনরাড হিউস্লার এরূপ একটি সংকর ধাতু গঠন করিয়াছিলেন 24% ম্যাংগানীজ 16% অ্যালুমিনিয়াম ও 60% তামার সংমিশ্রণে। ইহাকে হিউস্লার ধাতু (Heuslar alloy) বলা হয়। ইহা চৌম্বক পদার্থ।

1-8. চুম্বক, চৌম্বক পদার্থ ও অচৌম্বক পদার্থের সহজ উপায়ে সনাক্তকরণ (Simple identification of magnet, magnetic substance and non-magnetic substance) :

ধরা যাউক, A, B এবং C তিনটি দণ্ড বাহির হইতে দেখিতে হুবহু একরকম। বলা হইল একটি চুম্বক, একটি চৌম্বক পদার্থ অর্থাৎ লৌহদণ্ড এবং অপরটি অচৌম্বক পদার্থ, যেমন—তামার দণ্ড। অন্য কোন জিনিসের সহায়তা না লইয়া কিরূপে ইহাদের সনাক্ত করা যাইবে ?

মনে কর, C দণ্ড লইয়া পৃথকভাবে A ও B দণ্ডের সহিত স্পর্শ করানো হইল। যদি কোন আকর্ষণই লক্ষিত না হয় তবে বুঝিতে হইবে C দণ্ড অচৌম্বক পদার্থ অর্থাৎ তামার দণ্ড। কারণ, জানা আছে অচৌম্বক পদার্থ চুম্বক বা চৌম্বক পদার্থ দ্বারা আকর্ষিত হয় না।

এইবার A দণ্ডকে হাতে লইয়া উহার একপ্রান্ত B দণ্ডের গা বাহিয়া স্পর্শ করাও। যদি দেখ সর্বত্র আকর্ষণ অনুভূত হইতেছে তবে বুঝিতে হইবে A দণ্ড চুম্বক ও B দণ্ড চৌম্বক পদার্থ। আর যদি দেখ, B দণ্ডের দুইপ্রান্তে আকর্ষণ অনুভূত হইতেছে কিন্তু মধ্যস্থলে কোন আকর্ষণ নাই তবে বুঝিতে হইবে,

B দণ্ড চুম্বক ও A দণ্ড চৌম্বক পদার্থ। কারণ আমরা জানি, চুম্বকের দুই প্রান্তে আকর্ষণী শক্তি প্রবল এবং মাঝখানে কোন আকর্ষণী শক্তি নাই।

1-9. চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field) ঃ

লোহার ছোট টুকরা বা ঐরূপ চৌম্বক পদার্থের কোন টুকরাকে কোন দণ্ড-চুম্বকের কাছে আনিলে দণ্ড-চুম্বক দূর হইতেই টুকরাকে আকর্ষণ করিয়া লয়। ইহা হইতে বোঝা যায় চুম্বক দূরের কোন বিন্দুতে আকর্ষণী বল (বা বিকর্ষণী বল) প্রয়োগ করিতে পারে। চুম্বকের চতুর্দিকে যতদূর পর্যন্ত চৌম্বক প্রভাব বিস্তৃত হয় সেই স্থানকে চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে। গাণিতিক নিয়মানুযায়ী এই ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত কিন্তু কার্যত দেখা যায়, নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ত কোন চুম্বক তাহার প্রভাব বিস্তার করে ; তাহার পর উহার আর কোন প্রভাব দৃষ্ট হয় না। নানারকম উপায়ে চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরী করা যায় ; যেমন ঃ

(i) দণ্ড-চুম্বক দ্বারা,

(ii) তড়িৎ চুম্বক দ্বারা,

(iii) কোন তারকুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইয়া।

1-10. পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক (The earth is a huge magnet) ঃ

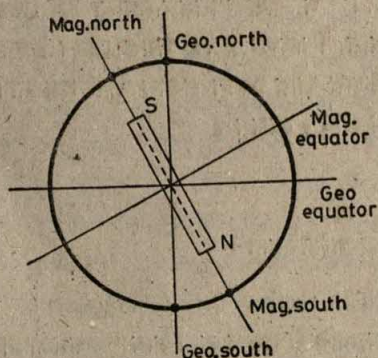
আমরা দেখিয়াছি মুক্ত অবস্থায় ঝুলানো একটি চুম্বক বা কোন চুম্বকশলাকা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া থাকে। উহাকে নাড়াইয়া দিলে কিছুক্ষণ আন্দোলনের পর পুনরায় পূর্বের জায়গায় ফিরিয়া আসে। মনে হয় যেন কোন আকর্ষণী শক্তির ফলে চুম্বক-শলাকা ঐরূপ নির্দিষ্ট দিকে মুখ করিয়া থাকে। এই ব্যাপার লক্ষ্য করিয়া বহুপূর্বে (প্রায় 1600 খ্রীষ্টাব্দে) ইংলণ্ডের রাণী এলিজাবেথের চিকিৎসক ডাঃ গিলবার্ট মত প্রকাশ করেন, পৃথিবী নিজেই একটি বিরাট চুম্বক। ডাঃ গিলবার্ট বলেন, চুম্বক-শলাকাকে প্রভাবিত করিতে একমাত্র চুম্বকই সক্ষম। যেহেতু শলাকার চতুর্দিকে অন্য কোন চুম্বক নাই সুতরাং পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাবের দরুনই শলাকার ঐরূপ ব্যবহার লক্ষিত হয়।

ডাঃ গিলবার্ট (1554—1603)

পরে ডঃ গিলবার্ট একটি চুম্বকের গোলক তৈরী করিয়া উহার নিকট ছোট ছোট চুম্বক রাখিয়া পরীক্ষা করিয়া দেখান যে, উহাদের ব্যবহারের সহিত পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে রাখা চুম্বকের ব্যবহারের সাদৃশ্য আছে। তাছাড়া ইহাও জানা ছিল মাটির ভিতর কোন চৌম্বক

পদার্থ কিছুদিন পুঁতিয়া রাখিলে পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাবের ফলে উক্ত চৌম্বক পদার্থ ক্ষীণ চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। এই সমস্ত কারণে বিজ্ঞানীগণ মনে করেন পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক।

পৃথিবীর এই চৌম্বক প্রভাবের সঠিক ব্যাখ্যা এখনও জানা যায় নাই। পৃথিবীর অভ্যন্তরে কোথাও যে এক বিরাট চুম্বক লুকানো আছে তাহাও নহে; তবুও দেখা যায় যে পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে।

সাধারণ চুম্বকের যেমন দুইটি মেরু থাকে তেমনি পৃথিবীর চুম্বকেরও দুইটি মেরু আছে (চিত্র 6)। পৃথিবীর একটি চৌম্বক মেরু কানাডার বোথিয়া ফেলিক্স অঞ্চলে অবস্থিত এবং ইহা পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তরমেরু হইতে প্রায় 1000 মাইল পশ্চিমে। পৃথিবীর অন্য মেরু দক্ষিণ ভিক্টোরিয়া অঞ্চলে অবস্থিত এবং ভৌগোলিক দক্ষিণ-মেরু হইতে প্রায় 1400 মাইল দূরে।

চিত্র নং 6

ইহা মনে রাখিতে হইবে চুম্বক-শলাকার যে-প্রান্ত পৃথিবীর উত্তর-মেরু অভিমুখী তাহা প্রকৃতপক্ষে শলাকার দক্ষিণ-মেরু, কারণ দুই বিষম মেরুর ভিতরই আকর্ষণ হইয়া থাকে। সেইজন্য শলাকার উক্ত প্রান্তকে বলা হয় উত্তর-সন্ধানী মেরু। কিন্তু সংক্ষেপ করিবার জন্য শলাকার ঐ প্রান্তকে উত্তর-মেরুই বলা হয়। তেমনি শলাকার অপর প্রান্তকে বলা হয় দক্ষিণ-সন্ধানী মেরু। সংক্ষেপে উহা দাঁড়াইয়াছে দক্ষিণ-মেরু।

উপরিউক্ত জটিলতা নিরসনের জন্য পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর-মেরুকে নীল-মেরু (blue pole) এবং চৌম্বক দক্ষিণ-মেরুকে লাল-মেরু (red pole) নামে অভিহিত করিবার প্রথাও প্রচলিত আছে।

চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic meridian plane) ঃ কোন স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বলিতে ঐ স্থানের মধ্য দিয়া এবং পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর ও দক্ষিণ-মেরুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত এক কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে (vertical plane) বুঝায়। ঐ তলের উপর যদি একটি রেখা কল্পনা করা যায় যাহা মেরুদ্বয় ও ঐ স্থানকে সংযুক্ত করে, তবে ঐ রেখাকে **চৌম্বক মধ্যরেখা** (meridian line) বলে।

ভৌগোলিক মধ্যতল (Geographical meridian plane) ঃ কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল বলিতে ঐ স্থানের মধ্য দিয়া এবং পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তর

ও দক্ষিণ মেরুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত এক কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে বুঝায়। ঐ তলের উপর যদি একটি রেখা কল্পনা করা যায় যাহা ভৌগোলিক মেরুদ্বয়কে ও ঐ স্থানকে সংযুক্ত করে, তবে ঐ রেখাকে **ভৌগোলিক মধ্যরেখা** বলে।

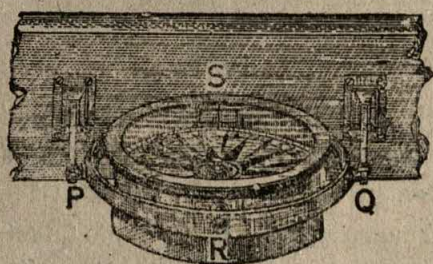
1-11. পৃথিবী কর্তৃক চুম্বকন (Magnetisation by the earth) ঃ

পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে। ইহার স্বপক্ষে আরও একটি জোরালো প্রমাণ এই যে, অন্যান্য চুম্বকের ন্যায় পৃথিবীও চুম্বকনে সক্ষম। অবশ্য এই চুম্বকন খুব ক্ষীণ। নরম লোহা, পারম্যালয় (permalloy), মিউমেটাল (mumetal) প্রভৃতি বিশেষ ধরনের চৌম্বক-প্রবণ পদার্থ ছাড়া ইহা প্রদর্শন করা সম্ভব নয়। ঐ ধরনের চৌম্বক পদার্থকে যদি চৌম্বক মধ্যতলে ভূ-পৃষ্ঠের সমান্তরালভাবে বা উল্লম্বভাবে কিছুদিন রাখা যায় ও মাঝে মাঝে একটু টোকা দেওয়া হয়, তবে উহারা ক্ষীণ চুম্বকে পরিণত হয়।

পৃথিবীর চুম্বকনশক্তির দৃষ্টান্ত নানা সাধারণ ঘটনার মধ্য দিয়া মাঝে মাঝে আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়। যে সকল লোহার বরগা উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া ছাদে আটকানো আছে, তাহাদের বা উল্লম্ব অবস্থায় রাখা লোহার রেলিং, স্তম্ভ প্রভৃতি পরীক্ষা করিলে ক্ষীণ চুম্বকত্ব ধরা পড়িবে। পৃথিবীর উত্তর গোলার্ধে উল্লম্ব লোহা, ইস্পাতের রেলিং, স্তম্ভ প্রভৃতির নিম্নপ্রান্ত N-মেরু এবং দক্ষিণ গোলার্ধে নিম্নপ্রান্ত S-মেরু লাভ করে। ইহা পৃথিবীর চুম্বকন শক্তির জন্য ঘটে। জাহাজ নির্মাণের সময় ইস্পাতের প্লেটকে হাতুড়ী দিয়া পিটাইতে হয় ও রিভেট করিতে হয়। এই সময় পৃথিবীর চুম্বকনের দরুন প্লেটগুলিও চুম্বকে পরিণত হয়। জাহাজ নির্মাণে ঐ প্লেটগুলি ব্যবহার করিলে জাহাজটিও ক্ষীণ চুম্বকত্ব লাভ করিবে। জাহাজের এই চুম্বকত্ব উপলক্ষ্য করিয়া প্রথম মহাযুদ্ধে জার্মানরা 'ম্যাগনেটিক মাইন' উদ্ভাবন করিয়াছিল। জাহাজের চুম্বকত্ব এই মাইনকে সক্রিয় করিয়া তোলে এবং বিরাট বিস্ফোরণের সৃষ্টি করিয়া জাহাজকে ধ্বংস করে।

1-12. নৌ-কম্পাস (Mariner's compass) ঃ

পূর্বে বলা হইয়াছে চুম্বকের একটি ধর্ম হইতেছে দিক্ নির্দেশ করা। চুম্বকের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া দিগদর্শন যন্ত্র বা কম্পাস তৈরী করা হইয়াছে। সাধারণত সমুদ্রবক্ষে নাবিকেরা যে ধরনের কম্পাস ব্যবহার করেন তাহাকে নৌ-কম্পাস বলে। পারাপারহীন সমুদ্রবক্ষে দিক্‌নির্দেশের জন্য নাবিকদের নিকট ইহা একটি অপরিহার্য যন্ত্র।

7নং চিত্রে একটি নৌ-কম্পাসের ছবি দেখান হইয়াছে। এই যন্ত্রে একটি গোল চাক্‌তির নীচে এক বা একাধিক চুম্বক-শলাকা আট্‌কানো থাকে। চুম্বক-শলাকার ঘূর্ণনের সঙ্গে চাক্‌তিরও ঘূর্ণন হয়। চাক্‌তির উপরের পরিধি ব্যাসার্ধ দ্বারা বত্রিশ ভাগে ভাগ করা। এই ভাগগুলিকে কম্পাসের বিন্দু (points) বলা হয়। এই ভাগগুলির যে ভাগটি চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুর ঠিক উপরে অবস্থিত তথায় একটি মুকুট (crown) চিহ্নিত থাকে। ইহা সর্বদা উত্তর-মেরু নির্দেশ করিবে। চাক্‌তি ও চুম্বক-শলাকা একটি অ্যাগেট টুকরার সাহায্যে তীক্ষ্ণাগ্র ধাতবদণ্ডের (pivot) উপর অনুভূমিক অবস্থায় রক্ষিত। এই অ্যাগেট টুকরা চুম্বক-শলাকার কেন্দ্রের সহিত সংযুক্ত।

নৌ-কম্পাস
চিত্র নং 7

জাহাজের দোলানী সত্ত্বেও চুম্বক-শলাকা যাহাতে সর্বদা অনুভূমিক তলে থাকিতে পারে সেইজন্য চাক্‌তি ও চুম্বক-শলাকা একটি গোল বাক্সে বসাইয়া বাক্সটি একটি আংটার সহিত বিপরীত বিন্দুতে (R ও S) আঁটা থাকে। অর্থাৎ বাক্স যেন RS রেখাকে অক্ষ করিয়া দুলিতে পারে। আবার আংটাকে একটি কাঠের ফ্রেমের সহিত P ও Q বিন্দুতে আট্‌কানো থাকে যাহাতে আংটা PQ রেখাকে অক্ষ করিয়া দুলিতে পারে। PQ ও RS রেখাদ্বয় পরস্পর সমকোণে অবস্থিত বলিয়া সমুদ্রের দোলানী সত্ত্বেও চুম্বক-শলাকা সর্বদা অনুভূমিক তলে থাকিবে। এই ব্যবস্থাকে বলা হয় গিমবল (gimbal) ব্যবস্থা।

কম্পাস চাক্‌তির মুকুট-চিহ্নের অবস্থান লক্ষ্য করিয়া নাবিকেরা এই যন্ত্রের সাহায্যে দিক্‌নির্দেশ করিতে পারেন।

প্রশ্নাবলী

1. চুম্বকের ধর্ম কি? প্রাকৃতিক ও কৃত্রিম চুম্বক কাহাকে বলে? [*M. Exam., 1988*] কয়েক প্রকার কৃত্রিম চুম্বকের বিবরণ দাও।

2. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখ ঃ—
(ক) মেরু, (খ) চৌম্বক অক্ষ, (গ) নিরপেক্ষ রেখা, (ঘ) কার্যকর দৈর্ঘ্য, (ঙ) মধ্যরেখা। [*M. Exam., 1985*]

3. চুম্বকের মেরু বলিতে কি বোঝ? উহাদের ধর্ম কি? [*M. Exam., 1985, '87*]

4. সূতা দিয়া ঝুলাইলে একটি চুম্বক উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া থাকে কেন? [*M. Exam., 1982*]

5. 'বিকর্ষণ চুম্বকত্বের প্রকৃষ্ট প্রমাণ'—ইহার ব্যাখ্যা কর।

6. চৌম্বকধর্মের দিক হইতে এক টুকরা পিতল, এক টুকরা কাঁচা লোহা ও একখণ্ড loadstone-এর ভিতর তফাত কি ?

7. স্থায়ী এবং অস্থায়ী চুম্বক কাহাকে বলে ? ইহাদের মধ্যে তফাত কি ?

8. স্থায়ী চুম্বক ও চৌম্বক পদার্থের মধ্যে পার্থক্য কি ? উহাদের আলাদা করিয়া সনাক্ত করিবার উপায় কি ? [*M. Exam.*, *1982*]

9. চৌম্বক ক্ষেত্র কাহাকে বলে ? কি কি উপায়ে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করা যায় ? [*M. Exam.*, *1985*]

10. "পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক"—ইহা ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam.*, *1981*, *'83*]

11. একটি দণ্ড-চুম্বকের দৈর্ঘ্য বরাবর চুম্বকত্ব কিরূপ হয় তাহার মোটামুটি বর্ণনা দাও। তোমাকে একটি দণ্ড-চুম্বক, একটি পিতলের দণ্ড এবং একটি লোহার দণ্ড দেওয়া হইল। অন্য কিছুর সাহায্য না লইয়া উহাদের কিরূপে সনাক্ত করিবে ? [*M. Exam.*, *1980*]

12. হ্যাডফিল্ড ম্যাংগানীজ স্টীল এবং হিউস্লার অ্যালয় কি ?

13. পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক বলিয়া মনে করিবার কারণ কি ? [*M. Exam.*, *1985*]

14. ভূ-চুম্বকের প্রকৃতি সম্বন্ধে বিবরণ লিখ। [*H. S. Exam.*, *1960*]

15. নৌ-কম্পাস কাহাকে বলে ? উহার বিশদ বিবরণ লিখ। [*M. Exam.*, *1982*, *'84*]

16. অস্ট্রেলিয়ার লোহার খুঁটিগুলির উপরের প্রান্তে সর্বদা উত্তর-মেরুর উদ্ভব হয় কেন ? 'ম্যাগনেটিক মাইন' কাহাকে বলে ?

17. চৌম্বক মধ্যরেখা এবং ভৌগোলিক মধ্যরেখা বলিতে কি বুঝায় ?

Objective type :

18. তিনটি বিকল্প হইতে একটি বাছিয়া লইয়া (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত উক্তিগুলি সম্পূর্ণ কর :

(a) নৌকম্পাসের বিন্দুগুলি—(i) উহাদের মেরু নির্দেশ করে, (ii) চৌম্বক অক্ষ নির্দেশ করে, (iii) দিকনির্দেশ করে।

(b) বাধাহীনভাবে প্রলম্বিত চৌম্বক-শলাকা অনুভূমিকভাবে স্থিরাবস্থায় আসে যখন উহা—(i) উত্তর চৌম্বক মেরুতে থাকে, (ii) চৌম্বক নিরক্ষরেখায় থাকে, (iii) দক্ষিণ চৌম্বক মেরুতে থাকে।

(c) ভূচুম্বকত্বের উত্তর মেরু অবস্থিত—(i) ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরুর কাছে, (ii) ভৌগোলিক উত্তর মেরুর কাছে, (iii) চৌম্বক নিরক্ষরেখার কাছে।

(d) অস্ট্রেলিয়ার লৌহদণ্ডগুলির নিম্নবিন্দুতে যে চৌম্বকমেরুর আবেশ হয় তাহা—(i) উত্তর মেরু (ii) দক্ষিণ মেরু (iii) কোন মেরু নয়।

(e) দণ্ডচুম্বকের আকর্ষণী শক্তি নিহিত থাকে—(i) দণ্ডের কেন্দ্রস্থলে, (ii) দুই প্রান্তে, (iii) দণ্ডের সকল বিন্দুতে।

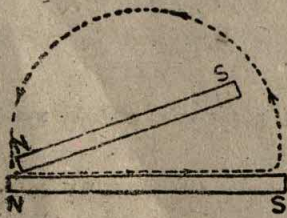
দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

বিভিন্ন চুম্বকন প্রণালী ও চৌম্বক আবেশ
(Methods of magnetisation and magnetic induction)

2-1. কৃত্রিম চুম্বক তৈয়ারীর বিভিন্ন প্রণালী ঃ

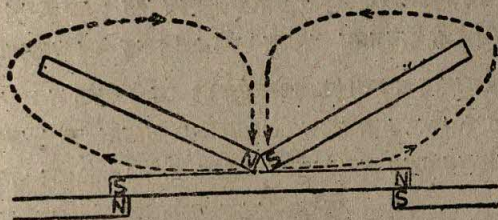
পূর্বে বলা হইয়াছে চৌম্বক পদার্থকে বিভিন্ন প্রণালী দ্বারা কৃত্রিম চুম্বকে পরিণত করা যায়। এই প্রণালী সাধারণত দুই প্রকার ঃ—(1) **ঘর্ষণ প্রণালী** ও (2) **তড়িৎ প্রণালী**।

(ক) ঘর্ষণ প্রণালীকে তিন ভাগে ভাগ করা যায়। যথা—(1) **একক স্পর্শ প্রণালী** (method of single touch), (2) **পৃথক্ স্পর্শ প্রণালী** (method of separate touch), ও (3) **যুগ্ম স্পর্শ প্রণালী** (method of double touch) এইবার এই প্রণালীগুলি আলোচনা করা যাক।

(1) **একক স্পর্শ প্রণালী ঃ** মনে কর, একটি ইস্পাত দণ্ডকে চুম্বকিত করিতে হইবে। পরীক্ষাধীন ইস্পাত দণ্ডকে টেবিলে রাখিয়া একটি শক্তিশালী চুম্বকের যে-কোন মেরু (ধর N-মেরু) দণ্ডের একপ্রান্তে আনতভাবে ঠেকাও। ঐ অবস্থায় চুম্বককে দণ্ডের গা বরাবর অপর প্রান্ত পর্যন্ত টানিয়া আন। চুম্বককে দণ্ড হইতে উঠাইয়া পুনরায় আগেকার অবস্থায় রাখিয়া আবার দণ্ডের গা বাহিয়া টান [8(i) নং চিত্র]। এইরূপ বার কয়েক টানিবার পর দণ্ডকে উল্টাইয়া তলার পিঠ উপরে আন। এই পিঠেও পূর্বের ন্যায় চুম্বক দিয়া টান। কয়েকবার এইরূপ করিবার পর দেখা যাইবে দণ্ড চুম্বকে পরিণত হইয়াছে।

একক স্পর্শ প্রণালী ; চিত্র নং 8(i)

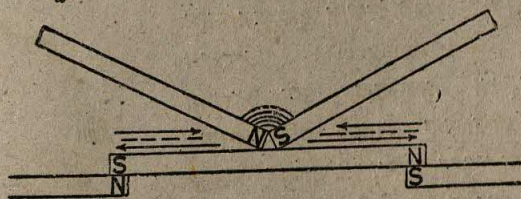
দণ্ডের যে প্রান্তে ঘর্ষণ শুরু হয় সেই প্রান্ত ঘর্ষণকারী মেরুর সমমেরু লাভ করে এবং যে প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ হয় সেই প্রান্ত বিপরীত মেরু লাভ করে। ঘর্ষণ-কারী মেরু যদি N-মেরু হয় তবে যে প্রান্তে ঘর্ষণ শুরু হয় সেখানে N-মেরু এবং যে প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ হয় সেই প্রান্তে S-মেরুর সৃষ্টি হইবে। এই একক স্পর্শ প্রণালী দ্বারা খুব ক্ষীণ চৌম্বকত্ব সৃষ্টি হয়।

(2) **পৃথক্ স্পর্শ প্রণালী ঃ** পরীক্ষাধীন ইস্পাত দণ্ডকে টেবিলে রাখিয়া দুইটি সমশক্তিসম্পন্ন চুম্বকের বিপরীত মেরুদ্বয়কে গায়ে গায়ে লাগাইয়া দণ্ডের

মাঝখানে আনতভাবে রাখ [8(ii) নং চিত্র]। এইবার চুম্বক দুইটিকে দণ্ডের গা বরাবর বিপরীত দিকে অর্থাৎ একটি চুম্বককে বাঁদিকে এবং অন্যটিকে ডানদিকে প্রান্ত অবধি টানিয়া লইয়া যাও। প্রান্তে পৌঁছাইয়া চুম্বক দুইটিকে দণ্ড হইতে উঠাইয়া পুনরায় আগের জায়গায় রাখ এবং আবার প্রান্ত অবধি টানিয়া লও। এইরূপ কয়েকবার টানিবার পর দণ্ডকে উল্টাইয়া তলার পিঠ উপরে আন।

পৃথক স্পর্শ প্রণালী
চিত্র নং 8(ii)

অনুরূপভাবে ঐ পিঠেও চুম্বক দুইটি ঘর্ষণ কর। ইহার ফলে দেখা যাইবে দণ্ড চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হইয়াছে। এখানেও দণ্ডের যে প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ হইতেছে তথায় ঘর্ষণকারী মেরুর বিপরীত মেরু সৃষ্টি হইবে।

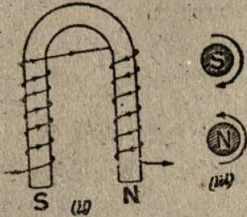
ইস্পাত দণ্ডটির প্রান্তদ্বয় দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরুর উপর রাখিয়া এই ঘর্ষণপ্রণালী অবলম্বন করিলে দণ্ডের চুম্বকত্ব আরও শক্তিশালী হইবে। এখানে লক্ষ্য রাখিতে হইবে, দণ্ডের তলার মেরুদ্বয় ঘর্ষণকারী মেরুদ্বয়ের সমধর্মালম্বী হওয়া দরকার (ছবিতে যেমন দেখানো হইয়াছে)।

(3) **যুগ্ম স্পর্শ প্রণালী**ঃ এই প্রণালী অনেকটা পূর্ববর্ণিত পৃথক্ স্পর্শ প্রণালীর মত। পূর্বের ন্যায় পরীক্ষাধীন ইস্পাত দণ্ডকে টেবিলে রাখিয়া দুইটি

যুগ্ম স্পর্শ প্রণালী
চিত্র নং 9

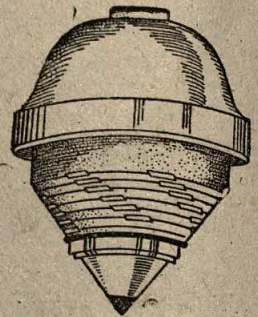
সমশক্তিসম্পন্ন চুম্বকের বিপরীত মেরুদ্বয় দণ্ডের মাঝখানে আনতভাবে রাখ। মেরুদ্বয়ের মধ্যে এক টুকরা কর্ক বা কাঠ রাখ যাহাতে মেরুদ্বয় সর্বদা একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থান করে (9 নং চিত্র)। এইবার চুম্বকদ্বয়কে একসঙ্গে টানিয়া দণ্ডের একপ্রান্ত অবধি লও। উহাদের না উঠাইয়া দণ্ডের গা বাহিয়া বিপরীত

প্রান্ত পর্যন্ত আন এবং পুনরায় মধ্যস্থানে ফিরাইয়া আন। ইহার ফলে দণ্ডের প্রত্যেক অর্ধ সমান সংখ্যক ঘর্ষণ লাভ করিবে। এইরূপে কয়েকবার ঘর্ষণের পর দণ্ডকে উল্টাইয়া তলার পিঠেও অনুরূপভাবে ঘর্ষণ কর। ইহার ফলে দণ্ড চুম্বকে পরিণত হইবে। এস্থলে দণ্ডের যে প্রান্তে ঘর্ষণকারী চুম্বকের যে মেরু কাছাকাছি আসে তাহার বিপরীত মেরু সৃষ্টি হয়।

এখানেও দণ্ডের প্রান্তদ্বয় দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরুদ্বয়ের উপর রাখিয়া উপরিউক্ত ঘর্ষণপ্রণালী অবলম্বন করিলে দণ্ডের চুম্বকত্ব খুব শক্তিশালী হইবে।

(খ) **তড়িৎ-প্রবাহ প্রণালী (তড়িৎ-চুম্বক)ঃ** যে ইস্পাত দণ্ডকে চুম্বকত্ব প্রদান করিতে হইবে তাহার গায়ে অন্তরিত (insulated) তামার তার জড়াও। দণ্ডটি সোজা না হইয়া অশ্বখুরের ন্যায় বাঁকা হইতে পারে। এখন তার দিয়া প্রবল তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ইস্পাত দণ্ড শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হইবে [10 নং চিত্র]। দণ্ড কাঁচা লোহার হইলে যতক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে ততক্ষণ উহা চুম্বকরূপে ব্যবহার করিবে। তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইলেই চুম্বকত্ব অন্তর্হিত হইবে।

তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা
চুম্বকন প্রণালী
চিত্র নং 10

এই প্রণালীতে দণ্ডের কোন্ প্রান্তে কি মেরু সৃষ্টি হইবে নির্ণয় করিতে হইলে দণ্ডের যে-কোন প্রান্তের দিকে তাকাও এবং সেই প্রান্তে তার দিয়া যদি তড়িৎ-প্রবাহ ঘড়ির কাঁটা যেদিকে ঘোরে সেইদিকে প্রবাহিত হয় তবে ঐ প্রান্তে S-মেরু সৃষ্টি হইবে। আর যদি তড়িৎ-প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয় তবে ঐ প্রান্তে N-মেরু সৃষ্টি হইবে। [চিত্র নং 10]।

তড়িৎ-চুম্বকঃ এই প্রকার চুম্বকের নাম তড়িৎ-চুম্বক (electro-magnet)। সাধারণ কৃত্রিম চুম্বক বা প্রাকৃতিক চুম্বক অপেক্ষা তড়িৎ-চুম্বক একাধিক কারণে সুবিধাজনক। যেমন তড়িৎ-প্রবাহ বাড়াইয়া বা তারের পাকের (turn) সংখ্যা বাড়াইয়া তড়িৎ-চুম্বককে খুব শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করা যায়। আবার, তড়িৎ-প্রবাহ বাড়াইয়া বা কমাইয়া ইহার চুম্বক-শক্তি ইচ্ছামত বাড়ানো, কমানো এমন কি বিলোপ করা যায়। ইচ্ছামত তড়িৎ-প্রবাহ চালাইয়া ইহাকে চুম্বকিত করা যায় বলিয়া এবং

চিকিৎসকগণ এই তড়িৎ-
চুম্বক ব্যবহার করেন
চিত্র নং 11

ইহার চুম্বকত্ব খুব শক্তিশালী হয় বলিয়া তড়িৎ-চুম্বক নানারকম কাজে ব্যবহৃত হয়। নিম্নে তড়িৎ-চুম্বকের কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ করা হইল ঃ

(1) বৈদ্যুতিক ঘন্টা, বৈদ্যুতিক পাখা, রিলে (Relay) প্রণালী প্রভৃতি বৈদ্যুতিক যন্ত্রে ইহার ব্যবহার আছে।

(2) বৃহৎ লৌহখণ্ডকে ভাঙ্গিয়া ফেলিবার জন্য তড়িৎ-চুম্বক দ্বারা আকর্ষণ করিয়া লৌহ খণ্ডকে খানিকটা উঁচুতে তুলিয়া মাটিতে ফেলিয়া দেওয়া হয়।

(3) চোখে লোহার কুচি পড়িলে চিকিৎসকগণ তড়িৎ-চুম্বকের সাহায্যে উহা চোখ হইতে বাহির করিয়া ফেলেন [চিত্র নং 11]।

(4) কতকগুলি অচৌম্বক পদার্থের সহিত লোহা মিশানো থাকিলে লোহাকে পৃথক্ করিবার জন্য তড়িৎ-চুম্বক ব্যবহৃত হয়।

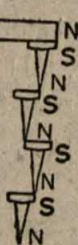
2-2. দুইয়ের অধিক মেরুবিশিষ্ট চুম্বক ; উপমেরু (Magnet with more than two poles ; Consequent poles) ঃ

ত্রুটিপূর্ণ চুম্বকন পদ্ধতি অবলম্বন করিলে অনেক সময় দেখা যায় যে চুম্বকে দুই-এর অধিক মেরু উৎপন্ন হইয়াছে। যেমন, পৃথক স্পর্শ প্রণালীতে ঘর্ষণকারী মেরুদ্বয় বিপরীত ধর্মী না লইয়া যদি সমধর্মী যেমন N-মেরু লওয়া হয় তাহা হইলে ইস্পাতদণ্ডের দুই প্রান্তে দুইটি S-মেরু এবং মাঝখানে একটি N-মেরু সৃষ্টি হইবে। দণ্ডের মাঝখানে যে অতিরিক্ত মেরুর উৎপত্তি হইল তাহাকে উপমেরু বলে। যদি কোন দণ্ড-চুম্বকের উভয় প্রান্তই একটি চুম্বক-শলাকার কোন বিশেষ মেরু (ধর, উত্তর মেরু) দ্বারা বিকর্ষিত বা আকর্ষিত হয়, তবে বুঝিতে হইবে যে দণ্ডের উভয় প্রান্তেই সমধর্মী মেরু আছে এবং মাঝখানে বিপরীত মেরু আছে অর্থাৎ দণ্ডে উপমেরু সৃষ্টি হইয়াছে।

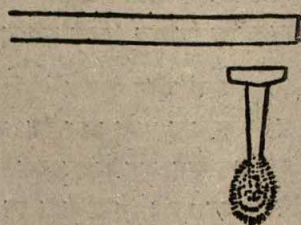
তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যেও দণ্ডে উপমেরু গঠন করা যায়। দণ্ডের এক অর্ধে তার এক অভিমুখে এবং অপর অর্ধে বিপরীত অভিমুখে জড়াইয়া, তার দিয়া প্রবল তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে, দণ্ডের উভয়প্রান্তে সমমেরু এবং মধ্যস্থলে বিপরীত মেরুর উদ্ভব হইবে।

মেরুবিহীন চুম্বক (Magnet with no poles) ঃ নরম লোহার রিং-এর গায়ে তামার তার জড়াইয়া তার দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করিয়া যদি উহাকে চুম্বকিত করা হয় অথবা কোন দণ্ড-চুম্বকের দ্বারা স্পর্শ-প্রণালীতে রিং-কে চুম্বকিত করা হয় তবে দেখা যায় যে উহা চুম্বকে পরিণত হইল বটে কিন্তু উহার কোন মেরু পাওয়া যাইতেছে না। এই ধরনের চুম্বককে মেরুবিহীন চুম্বক বলে। ঐ চুম্বকিত রিংয়ের কোন স্থান কাটিয়া ফেলা হইলে, কাটামুখের একদিকে উত্তর মেরু এবং বিপরীত দিকে দক্ষিণ মেরুর উদ্ভব হয়।

2-3. চৌম্বক আবেশ (Magnetic induction) ঃ

আমরা দেখিয়াছি ঘর্ষণ ও তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা কোন চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। ইহা ছাড়াও আর এক প্রকার সহজ উপায়ে চুম্বক তৈরী করা যায়। দেখা গিয়াছে একটি শক্তিশালী চুম্বকের সহিত যদি কোন চৌম্বক পদার্থ স্পর্শ করানো যায় অথবা খুব কাছে আনা যায় তবে উক্ত চৌম্বক পদার্থ চুম্বকে পরিণত হয়। এই ঘটনাকে **চৌম্বক আবেশ** বলে। নিম্নে বর্ণিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা চৌম্বক আবেশ খুব সুন্দরভাবে বোঝা যাইবে।

শৃঙ্খলের ন্যায় পেরেকগুলি চুম্বকের গায়ে ঝুলিবে
চিত্র নং 12

পরীক্ষা ঃ (ক) একটি দণ্ড-চুম্বকের যে-কোন মেরু ধর N-মেরুর নীচে একটি কাঁচা লোহার পেরেক স্পর্শ করাইলে পেরেকটি চুম্বকীয় আকর্ষণের ফলে ঝুলিতে থাকিবে। এখন আর একটি পেরেক প্রথম পেরেকের তলায় স্পর্শ করাইলে দেখা যাইবে যে দ্বিতীয় পেরেকটিও প্রথম পেরেকটির গায়ে লাগিয়া ঝুলিতেছে (12 নং চিত্র)। এইভাবে কয়েকটি পেরেক পরপর রাখিয়া একটি শৃঙ্খল তৈরী করা যাইবে। ইহা প্রমাণ করে প্রত্যেকটি পেরেক চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। এখন খুব সাবধানে দণ্ড চুম্বক উপর হইতে সরাইয়া লও। দেখিবে পেরেকগুলি সব খসিয়া পড়িল। ইহা হইতে বোঝা যায় পেরেকগুলির চুম্বকত্ব সাময়িক এবং যতক্ষণ পর্যন্ত দণ্ড চুম্বকের সহিত যোগাযোগ থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত পেরেকগুলি চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে।

(খ) একটি কাঁচা লোহার পেরেক লৌহচূর্ণের মধ্যে ডুবাইয়া তুলিয়া আনিলে পেরেকের গায়ে চূর্ণ লাগিয়া থাকে না। কিন্তু পেরেকটির কিছু উপরে (13 নং চিত্র) একটি দণ্ড-চুম্বক রাখিলে দেখা যাইবে কিছু চূর্ণ আটকাইয়া আছে। চুম্বক-দণ্ড সরাইয়া লইলে চূর্ণগুলি আবার পড়িয়া যাইবে। এই পরীক্ষা-দ্বারা প্রমাণ হয় পেরেকটি দণ্ড-চুম্বকের খুব কাছে থাকায় দণ্ড-চুম্বকের প্রভাবে পেরেকটি সাময়িকভাবে চুম্বকে পরিণত হইয়াছে।

দণ্ডচুম্বকের প্রভাবে পেরেকটি সাময়িক চুম্বকত্ব পায়
চিত্র নং 13

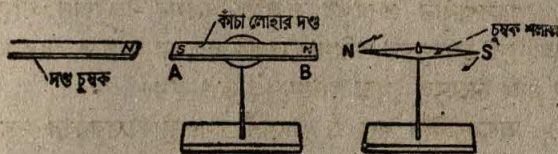
সতরাং বলা যাইতে পারে, কোন শক্তিশালী চুম্বকের প্রভাবে কোন চৌম্বক

পদার্থে সাময়িক চুম্বকত্ব সৃষ্টি হয়। এই ধরনের চুম্বকত্বকে **আবিষ্ট চুম্বকত্ব** (induced magnetism) বলে।

2-4. আবিষ্ট চুম্বকত্বে মেরুর প্রকৃতি (Nature of polarity in induced magnetism)

আমরা দেখিলাম আবেশের দ্বারা কোন লৌহদণ্ডকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। কিন্তু ঐ আবিষ্ট চুম্বকের কোন্ প্রান্তে কি ধরনের মেরু থাকিবে তাহা পূর্বের পরীক্ষায় জানা যায় না। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা আবিষ্ট চুম্বকে মেরুর প্রকৃতি বোঝা যাইবে।

পরীক্ষা ঃ একটি চুম্বক-শলাকা লও এবং উহা হইতে এমন দূরে একটি দণ্ডচুম্বক রাখ যাহাতে দণ্ড-চুম্বকের প্রভাবে শলাকার কোন বিক্ষেপ (deflection) না হয়। মনে কর, দণ্ড-চুম্বক ও চুম্বক-শলাকার N-মেরুদ্বয় পরস্পরের মুখো-

আবিষ্ট চুম্বকত্বে মেরুর প্রকৃতি নির্ণয় পরীক্ষা
চিত্র নং 14

মুখি (14 নং চিত্র)। এখন উহাদের মধ্যে একটি কাঁচা-লোহার দণ্ড AB রাখ। দেখিবে সঙ্গে সঙ্গে চুম্বক-শলাকার N-মেরু বিকর্ষিত হইয়া দূরে সরিয়া গেল। ইহা প্রমাণ করে আবেশের দরুন কাঁচা-লোহার দণ্ডের B-প্রান্তে N-মেরুর উদ্ভব হইয়াছে। কারণ আমরা জানি সম-মেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। সুতরাং দণ্ডের A-প্রান্তে বিপরীত মেরু অর্থাৎ S-মেরু উৎপন্ন হইয়াছে। অর্থাৎ দণ্ড-চুম্বকের আবেশকারী (inducing) N-মেরু কাঁচা লোহার দণ্ডের নিকটতম A-প্রান্তে নিজের বিপরীত মেরু বা S-মেরু এবং দূরতম B-প্রান্তে সমমেরু বা N-মেরু সৃষ্টি করিয়াছে। যদি দণ্ড-চুম্বকের S-মেরু AB দণ্ডের A-প্রান্তের কাছে রাখা হয় তবে A-প্রান্তে N-মেরু এবং B-প্রান্তে S-মেরু আবিষ্ট হইবে। ইহা হইতে সাধারণভাবে বলা যায় **আবেশকারী মেরুর নিকটতম প্রান্তে বিপরীত-মেরু ও দূরতম প্রান্তে সম-মেরু উৎপন্ন হয়।**

2-5. আকর্ষণের পূর্বে আবেশ (Induction precedes attraction) ঃ

আমরা জানি কোন দণ্ড-চুম্বকের যে-কোন মেরু অপর একটি চৌম্বক পদার্থের নিকট আনিলে চুম্বক ঐ পদার্থকে নিজের দিকে আকর্ষণ করিয়া লয়। এই আকর্ষণ বিনা কারণে হয় না---ইহার মূলে আছে চৌম্বক আবেশ। যখন একটি

চুম্বক-মেরুকে চৌম্বক পদার্থের নিকটে আনা হইবে তখন চৌম্বক আবেশের ফলে পদার্থটির নিকটতম প্রান্তে ঐ মেরুর বিপরীত মেরু আবিষ্ট হইবে এবং দূরতম প্রান্তে ঐ মেরুর সমমেরু আবিষ্ট হইবে। অর্থাৎ পদার্থটি ক্ষণস্থায়ী চুম্বকে পরিণত হইবে। এখন আবেশী মেরু (inducing pole) এবং নিকটতম আবিষ্ট মেরু (induced pole) বিপরীত বলিয়া পরস্পরের ভিতর আকর্ষণ বল ক্রিয়া করিবে এবং তাহার ফলে চুম্বক ঐ পদার্থকে নিজের দিকে আকর্ষণ করিবে। এই কারণে বলা হয়, আকর্ষণের পূর্বে আবেশ সংঘটিত হয়।

আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ (Amount of induced magnetism) ঃ

আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে ঃ

(i) আবেশী মেরুর শক্তি ; আবেশী মেরুর শক্তি যত বেশী হইবে আবিষ্ট চুম্বকত্ব তত শক্তিশালী হইবে।

(ii) আবেশাধীন পদার্থের প্রকৃতি ; যেমন, অনুরূপ পরিস্থিতিতে নরম লোহায় আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ একই ধরনের ইস্পাত অপেক্ষা বেশী হইবে। কোবাল্ট এবং নিকেলে ইহার পরিমাণ আরও কম।

(iii) আবেশাধীন বস্তু ও আবেশী মেরুর ভিতরকার দূরত্ব ; দূরত্ব যত কম হইবে, আবেশের পরিমাণও তত বৃদ্ধি পাইবে।

(iv) আবেশাধীন বস্তু ও আবেশী মেরুর ভিতরকার মাধ্যম ; দেখা যায় কোন কোন মাধ্যমে আবেশ ক্রিয়া বেশী হয়, আবার কোন কোন মাধ্যমে কম হয়।

2-6. আবেশের ফলে মেরুর পরিবর্তন (Change of polarity due to induction) ঃ

মনে কর, একটি শক্তিশালী দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু দ্রুত একটি চুম্বক-শলাকার (অথবা কোন দুর্বল চুম্বকের) N-মেরুর খুব কাছে আনা হইল। দুইটি সমমেরুর ভিতর পারস্পরিক ক্রিয়ার নিয়মানুযায়ী উহাদের ভিতর বিকর্ষণ হওয়া উচিত। কিন্তু দেখা যাইবে বিকর্ষণের পরিবর্তে উহাদের ভিতর আকর্ষণ ক্রিয়া করিল। ইহার কারণ আবেশের ফলে চুম্বক-শলাকার অথবা দুর্বল চুম্বকের মেরুর পরিবর্তন। দণ্ড-চুম্বক খুব শক্তিশালী বলিয়া উহা দুর্বল চুম্বকের N-মেরুর উপর (আবেশের নিয়মানুযায়ী) S-মেরু আবিষ্ট করিবে এবং এই আবিষ্ট S-মেরু দুর্বল চুম্বকের নিজস্ব N-মেরু অপেক্ষা অধিকতর শক্তিশালী বলিয়া দুর্বল চুম্বকের নিজস্ব N-মেরুর শক্তি সম্পূর্ণ নষ্ট হইয়া যাইবে এবং ঐ স্থলে S-মেরুর উদ্ভব হইবে। দুর্বল চুম্বকের অপর প্রান্তেও অনুরূপ ঘটনা ঘটিবে। এইভাবে দুর্বল চুম্বকের দুই মেরু পরিবর্তিত হইয়া যাইবে।

সাধারণত শক্তিশালী চুম্বক সরাইয়া লইলে দুর্বল চুম্বক পুনরায় নিজস্ব মেরু ফিরিয়া পায়। কিন্তু কোন কোন ক্ষেত্রে মেরুর এই পরিবর্তন স্থায়ী হইতে পারে।

এই কারণে চুম্বক-শলাকার সাহায্যে কোন চুম্বকের মেরু পরীক্ষার জন্য চুম্বককে দ্রুত চুম্বক-শলাকার কাছে আনিতে নাই। উহাদের সর্বদা দূর হইতে আস্তে আস্তে কাছে আনিতে হয়।

2-7. চুম্বকত্ব বিনাশের বা হ্রাসের কারণ (Factors responsible for destruction or weakening of magnetism) ঃ

নিম্নলিখিত কারণের জন্য কোন চুম্বক-দণ্ডের চুম্বকত্ব বিনষ্ট হয় বা হ্রাস পায় ঃ

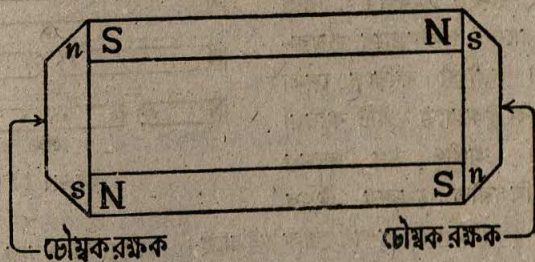
(i) যদি দুইটি দণ্ড-চুম্বককে এমনভাবে রাখা হয় যে উহাদের সম-মেরু পাশাপাশি থাকে তবে আবেশের ফলে প্রত্যেক মেরু অপরের উপর বিপরীত মেরু উৎপন্ন করিবে। ফলে উভয়ের চুম্বকত্ব হ্রাস পাইবে।

(ii) ভূ-চৌম্বকের আবেশের দ্বারা চুম্বকত্ব বিনষ্ট হয় বা হ্রাস পায়। যেমন উত্তর গোলার্ধে কোন চুম্বককে যদি S-মেরু নীচের দিকে রাখিয়া খাড়াভাবে ঝুলাইয়া রাখা হয় তবে পৃথিবীর চুম্বকত্ব উহার উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করিবে এবং উহার ফলে চুম্বকত্ব হ্রাস পাইবে।

(iii) কোন চুম্বককে আঘাত করিলে বা মোচড়াইলে উহার চুম্বকত্ব বিনষ্ট হয়।

(iv) চুম্বককে নির্দিষ্ট তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী উত্তপ্ত করিলে উহার চুম্বকত্ব নষ্ট হইয়া যায়।

2-8. চৌম্বক রক্ষক (Magnetic keepers) ঃ

একটি দণ্ড চুম্বকের দুই মেরু পরস্পরের উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করিবার জন্য সর্বদা চেষ্টা করে। ফলে প্রত্যেক মেরুর শক্তিই ক্রমশ হ্রাস পায়। এইজন্য দেখা যায় কোন দণ্ড-চুম্বককে বহুদিন কোন কাজে না লাগাইয়া রাখিয়া দিলে উহার চৌম্বক শক্তি অনেক পরিমাণে হ্রাস পাইয়া গিয়াছে। তেমনি

দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বক রক্ষক

চিত্র নং 15

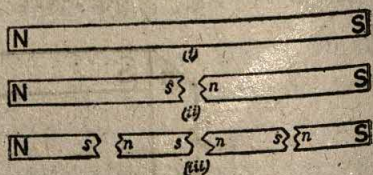
একটি অশ্বখুর চুম্বককেও রাখিয়া দিলে পারস্পরিক ক্রিয়ায় মেরুশক্তি ক্রমশ হ্রাস পাইবে। চুম্বকের চুম্বকত্ব রক্ষার জন্য যে ব্যবস্থা করা হয় তাহাকে **চৌম্বক রক্ষক** বলে। ইহা আর কিছুই নয় একটি নরম লোহার ছোট দণ্ড।

দণ্ড-চুম্বকের বেলাতে দুইটি দণ্ড-চুম্বককে এমনভাবে পাশাপাশি রাখা হয় যে উহাদের বিপরীত মেরু মুখোমুখী থাকে। অতঃপর নরম লোহার ছোট দণ্ড দ্বারা উহাদের যুক্ত করা হয় (15 নং চিত্র)। ইহার ফলে দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু রক্ষকের নিকটতম প্রান্তে S-মেরু আবিষ্ট করিবে এবং উহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ দণ্ড-চুম্বকের N-মেরুকে রক্ষা করিবে। এইরূপ আবেশের ফলে সমগ্র মেরুগুলি একটি বদ্ধমুখ শৃঙ্খলের (closed chain) ন্যায় ব্যবহার করিবে এবং চুম্বকের শক্তি বজায় থাকিবে।

অশ্বখুর চুম্বকের
চৌম্বক রক্ষক
চিত্র নং 16

অশ্বখুর চুম্বকের বেলাতেও ঐরূপ একটি ছোট নরম লোহার দণ্ড কর্তৃক চুম্বকের দুই মেরুকে সংযুক্ত করা হয় (16 নং চিত্র)। ইহার ফলে কোথাও কোন স্বাধীন মেরুর (free pole) অস্তিত্ব থাকে না। আবিষ্ট মেরু এবং চুম্বকের মেরু মিলিয়া একটি বদ্ধমুখ শৃঙ্খলের সৃষ্টি করে।

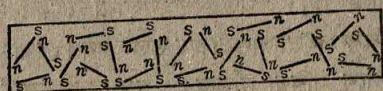
2-9. একটি মেরু পৃথক করা অসম্ভব (Isolation of a single pole is impossible) ঃ

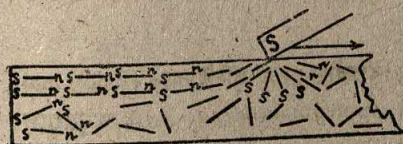
প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম চুম্বকের দুইটি মেরু থাকে। এই দুইটি মেরু হইতে কোন একটিকে বিচ্ছিন্ন করা সম্ভব নয়। একটি চুম্বক লইয়া সমান দুই টুকরা করিয়া ফেলিলে আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় মেরু বিচ্ছিন্ন হইল। কিন্তু প্রত্যেক টুকরাকে পৃথকভাবে চুম্বক-শলাকা দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, প্রত্যেক টুকরাতে দুইটি করিয়া মেরু আছে। অর্থাৎ ভগ্ন স্থানের দুই মুখে বিপরীত মেরুর উদ্ভব হইয়া প্রত্যেক টুকরাই স্বয়ং-সম্পূর্ণ চুম্বক হইয়াছে। এই দুই টুকরার প্রত্যেকটিকে যদি আবার অর্ধেক করিয়া ভাঙ্গা যায় তবে প্রত্যেক ভাগই স্বয়ংসম্পূর্ণ চুম্বক বলিয়া প্রমাণিত হইবে [চিত্র 17]। এইরূপ ক্রমাগত ভাঙ্গিয়া ছোট করিলে সব সময়ই

চিত্র নং 17

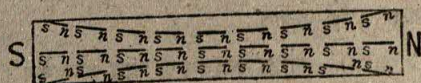
ভগ্ন অংশগুলি দুই মেরু বিশিষ্ট চুম্বকে পরিণত হইবে। কিছুতেই দণ্ড-চুম্বকের দুইটি মেরু পৃথক করা যাইবে না।

2-10. চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব (Molecular theory of magnetism) :

পূর্বের অনুচ্ছেদ হইতে আমরা জানিতে পারি, কোন চুম্বককে ভাঙ্গিয়া টুকরা টুকরা করিলে কিছুতেই দুইটি মেরু পৃথক্ করা যায় না। চুম্বকের এই কৃত্রিম বিভাজনের ফলে শেষ পর্যন্ত আমরা চুম্বকের একটি অণুতে পৌঁছাইব। তখনও ঐ অণু দুই মেরু-বিশিষ্ট স্বয়ংসম্পূর্ণ চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করিবে। এই ঘটনা হইতে বিশিষ্ট জার্মান বিজ্ঞানী ওয়েবার চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব সম্বন্ধে একটি মতবাদ প্রচার করিয়াছিলেন।

এই তত্ত্ব অনুযায়ী চৌম্বক পদার্থের অণুগুলি দুই মেরু-বিশিষ্ট স্বতন্ত্র চুম্বক ; কিন্তু চুম্বকিত না করা পর্যন্ত ইহাদের চৌম্বক অক্ষগুলি বদ্ধমুখ শৃঙ্খলের (closed chain) ন্যায় সজ্জিত থাকে। ফলে, চৌম্বক পদার্থে চৌম্বক ধর্ম প্রকাশ পায় না [চিত্র 18]। চিত্রে অণু-চুম্বকগুলির 'অক্ষ দেখানো হইয়াছে। সেইজন্য চুম্বকিত না করা পর্যন্ত চৌম্বক পদার্থের কোন স্বাধীন (free) মেরু দেখা যায় না বা চৌম্বক পদার্থ চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে না।

চিত্র নং 18

কিন্তু যখন কোন চৌম্বক পদার্থকে কোন শক্তিশালী মেরুর কাছে আনা যায় (ধর, S-মেরুর কাছে) তখন ঐ মেরুর প্রভাবে বদ্ধমুখ শৃঙ্খলগুলি ভাঙ্গিয়া যায়। অণুচুম্বকগুলির n-মেরু ঘর্ষণকারী S-মেরু কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া উহার দিকে মুখ ঘুরাইয়া দাঁড়ায় [চিত্র 19]। এইভাবে ঘর্ষণকারী S-মেরু দ্বারা বার বার চৌম্বক পদার্থ-কে ঘষিলে ক্রমশ বেশী সংখ্যক অণু উপরিউক্তভাবে সজ্জিত হইয়া পড়িলে, চৌম্বক পদার্থ চুম্বকে পরিণত হয় [চিত্র 20]।

চিত্র নং 19

চৌম্বক পদার্থের দৈর্ঘ্যের মাঝামাঝি স্থানে অণুচুম্বকগুলির বিপরীত মেরু মুখোমুখি থাকায় উহারা পরস্পরের প্রভাব নষ্ট করিয়া দেয়। তাই দণ্ডের মাঝখানে কোন চৌম্বক ধর্ম দেখা যায় না। শুধু দুই

চিত্র নং 20

প্রান্তে মেরুগুলি একই ধর্মাবলম্বী বলিয়া নিজেদের প্রভাব অক্ষুণ্ণ রাখে এবং প্রান্তদেশে বিপরীত মেরু সৃষ্টি করে।

2-11. আণবিক চৌম্বকত্ব দ্বারা কয়েকটি চৌম্বক ঘটনার ব্যাখ্যা (Explanation of some magnetic phenomena according to the molecular theory) ঃ

(i) **ঘর্ষণজাত চুম্বকত্ব** (Magnetisation by rubbing) ঃ ঘর্ষণপ্রণালী দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈরী করা যায়, ইহা 2-1 অনুচ্ছেদে আলোচিত হইয়াছে। আণবিক তত্ত্বদ্বারা এই প্রণালী ব্যাখ্যা করা সম্ভব।

একক স্পর্শ প্রণালীতে যখন ঘর্ষণকারী S-মেরু দ্বারা ইস্পাতদণ্ডের একপ্রান্ত স্পর্শ করা হয় তখন স্পর্শবিন্দুর কাছাকাছি ইস্পাতদণ্ডের অণুগুলির n-মেরু ঘুরিয়া ঘর্ষণকারী S-মেরুর মুখোমুখী হয় ও s-মেরু উল্টা দিকে ঘুরিয়া দাঁড়ায় [চিত্র 19]। যতই ঘর্ষণকারী মেরুকে ইস্পাতদণ্ডের গা-বাহিয়া অন্য প্রান্তের দিকে লইয়া যাওয়া হয় ততই স্পর্শ রেখা বরাবর অণুগুলির চৌম্বক অক্ষ উপরোক্ত-ভাবে ঘুরিয়া দাঁড়ায়। যখন ঘর্ষণকারী S-মেরুকে ইস্পাতদণ্ড হইতে তুলিয়া লওয়া হয় তখন ইস্পাতদণ্ডের অণুচুম্বকগুলির কতকাংশের n-মেরু উক্ত প্রান্তের দিকে মুখ করিয়া দাঁড়ায় ও s-মেরু বিপরীত দিকে মুখ করে। এইরূপ বার বার ঘষিলে বেশী সংখ্যক অণু-চুম্বকের অক্ষ উপরোক্তভাবে সজ্জিত হইয়া পড়ে। তখন ইস্পাতদণ্ডের দুই প্রান্তে বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হয় ও দণ্ড চুম্বকে পরিণত হয়।

অন্যান্য স্পর্শপ্রণালীগুলিও উক্ত আণবিক চৌম্বকত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে।

(ii) **ঘর্ষণজাত চুম্বকন দুইটি সমান ও বিপরীত মেরু সৃষ্টি করে** (Frictional magnetism produces two equal and opposite poles) ঃ 2-10 অনুচ্ছেদে চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব সম্পর্কে উল্লেখ করা হইয়াছে যে ঘর্ষণের দ্বারা কোন চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকিত করিলে চৌম্বক পদার্থের অণুচুম্বকগুলি পরপর শৃঙ্খলের ন্যায় সজ্জিত হয় [চিত্র 20]। প্রত্যেক শৃঙ্খলের দুই প্রান্তে একটি করিয়া মুক্ত আণবিক মেরু থাকায় বোঝা যায় যে চুম্বকের মোট মুক্ত n-মেরু ও s-মেরু পরস্পরের সমান।

(iii) **আগে আবেশ ও পরে আকর্ষণ** (Induction precedes attraction) ঃ যখন একটি চুম্বক-মেরুকে চৌম্বক পদার্থের নিকট আনা হয় তখন ঐ মেরুর প্রভাবে চৌম্বক পদার্থের অণুচুম্বকগুলি বদ্ধমুখ শৃঙ্খল ভাঙ্গিয়া নিয়মিত (regular) [illegible]জায় সজ্জিত হয় এবং পদার্থটি সাময়িকভাবে চুম্বকে পরিণত হয়। আবেশী

মেরু যদি উত্তর মেরু হয় তবে অণুচুম্বকগুলি S-মেরু উহার দিকে মুখ করিয়া দাঁড়ায় এবং চৌম্বক পদার্থের নিকটতম প্রান্তে দক্ষিণ-মেরুর উদ্ভব হয়। তখন আবেশী উত্তর-মেরু এবং নিকটতম আবিষ্ট দক্ষিণ মেরুর ভিতর আকর্ষণ ক্রিয়া করে এবং চৌম্বক পদার্থ আবেশী মেরুর দিকে সরিয়া আসে। সুতরাং বলা হয় আকর্ষণ হইবার পূর্বে আবেশ সংঘটিত হয়।

প্রশ্নাবলী

1. একখণ্ড কাঁচা লোহার টুকরাকে কৃত্রিম চুম্বকে পরিণত করিবার বিভিন্ন প্রণালী বর্ণনা কর। [*M. Exam.*, *1983*]

2. তোমাকে একটি সুঁচ দিয়া এরূপভাবে চুম্বকিত করিতে বলা হইল যে উহার মাথায় (সুতা গলাইবার জায়গায়) উত্তর মেরু থাকে। দণ্ড-চুম্বকের সাহায্যে ঘর্ষণজাত প্রণালীতে ইহা কিরূপে করিবে তাহা চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর। দণ্ড-চুম্বকের মেরু নির্দেশ কর এবং ঘর্ষণের অভিমুখ দেখাও। [*H. S. Exam.*, *1960*]

3. চৌম্বক আবেশ কাহাকে বলে? [*M. Exam.*, *1984*]

4. একটি ইস্পাতদণ্ডকে কিরূপে (i) একক স্পর্শ প্রণালী, (ii) তড়িৎ প্রণালী দ্বারা কৃত্রিম চুম্বকে পরিণত করা যায় তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও। ঐ দণ্ডের এক নির্দিষ্ট প্রান্তে N-মেরু তৈয়ারী করিতে গেলে কি করিতে হইবে?

5. আবিষ্ট চুম্বকত্ব কাহাকে বলে? উপযুক্ত পরীক্ষা দ্বারা উহা বুঝাইয়া দাও। [*M. Exam.*, *1982*]

6. আবিষ্ট চুম্বকত্বে মেরুর প্রকৃতি কিরূপ হইবে? একটি খাড়াভাবে ঝুলন্ত দণ্ড-চুম্বকের তলায় কতকগুলি ছোট ছোট কাঁচা লোহার টুকরা শিকলের মত ঝুলিয়া থাকে। কিন্তু দণ্ড-চুম্বক সরাইয়া লইলে টুকরাগুলি পড়িয়া যায়। কেন?

7. 'পূর্বে আবেশ পরে আকর্ষণ'—এই বাক্যের পূর্ণ ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam.*, *1981*]

8. একটি শক্তিশালী চুম্বক A-র N-মেরু স্বাধীনভাবে ঝুলানো একটি দুর্বল চুম্বক B-এর N-মেরুর নিকট আনা হইল। B-চুম্বকের N-মেরু নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কিরূপ ব্যবহার করিবে কারণ উল্লেখ করিয়া বর্ণনা কর:—

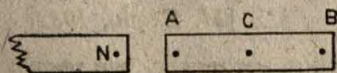
(i) যখন B-চুম্বক হইতে A-চুম্বক কিছু দূরে, (ii) যখন A-চুম্বক B-চুম্বকের খুব কাছে। [*H. S. Comp.*, *1960*]

9. চৌম্বক রক্ষক কাহাকে বলে? অশ্বখুর চুম্বকের মেরুদ্বয়ের ভিতর চৌম্বক রক্ষক রাখিলে উহার চুম্বকত্ব স্থায়ী হয় কেন?

10. তড়িৎ চুম্বক কাহাকে বলে? ইহার সহিত কৃত্রিম চুম্বকের পার্থক্য কি? তড়িৎ-চুম্বকের কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ কর।

11. একখণ্ড কাঁচা লোহা নিকটস্থ চুম্বক দ্বারা আবেশগ্রস্থ অবস্থায় গরম করিলে কি ঘটিবে? [*M. Exam., 1988*]

12. তোমাকে সম্পূর্ণ সদৃশ তিনটি দণ্ড দেওয়া হইল। তন্মধ্যে একটি অচৌম্বক পদার্থ, একটি চৌম্বক পদার্থ এবং তৃতীয়টি একটি চুম্বক। অন্য কিছু ব্যবহার না করিয়া উহাদের কিভাবে চিনিবে? [*M. Exam., 1980*]

13. দুইটি লৌহদণ্ডের যে কোন দুই প্রান্ত পরস্পরের কাছে আনিলে আকর্ষণ দেখা যায়। ইহা হইতে কি বলা যায় যে একটি দণ্ড চুম্বকিত নয়?

চিত্র 21

14. 21 নং চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপভাবে একটি দণ্ড-চুম্বকের N-মেরুকে একটি নরম লোহার দণ্ড AB-এর কাছে আনিয়া নরম লোহার দণ্ডে চৌম্বক আবেশ হইতে দেওয়া হইল। A, B এবং C বিন্দুতে কি ধরনের মেরু আবিষ্ট হইবে?

15. চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব অনুযায়ী বুঝাও :—(i) চুম্বকন দুইটি সমান ও বিপরীত মেরু সৃষ্টি করে, (ii) আগে আবেশ, পরে আকর্ষণ। [*M. Exam., 1979*]

16. যখন বস্তুকে চুম্বকিত করা হয়, তখন নিম্নলিখিত বিষয়ে বস্তুর কি পরিবর্তন হয় বর্ণনা কর :—(i) বস্তুর ওজন, (ii) বস্তুর ভারকেন্দ্র, (iii) বস্তুর রং, (iv) বস্তুর আকার।

17. মেরুবিহীন চুম্বক তৈয়ারী করা কি সম্ভব? উপমেরু কাহাকে বলে? একটি দণ্ড-চুম্বকের দুই-প্রান্তই একটি চুম্বকশলাকার উত্তর-মেরুকে বিকর্ষণ করিতেছে। ইহা কখন সম্ভব?

● Objective type :

18. নিম্নলিখিত উক্তিগুলি শুদ্ধ কি অশুদ্ধ লেখ :

(a) চুম্বকের দুই মেরুকে সংযুক্ত করিয়া যে-রেখা পাওয়া যায় তাহাকে চৌম্বক মধ্যরেখা বলে।

(b) চুম্বকের সমমেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে; বিষমমেরু বিকর্ষণ করে।

(c) অচৌম্বক পদার্থ চৌম্বক আবেশে বিঘ্ন ঘটায় না।

(d) অনিয়মিতভাবে ব্যবহার করিলে দণ্ড-চুম্বকের চুম্বকত্ব নষ্ট হয় কারণ ইহাতে মেরুদ্বয়ের স্থান অদলবদল হইয়া যায়।

(e) চুম্বকের দুই মেরুকে পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন করা কোনমতেই সম্ভব নয়।

(f) আবেশী মেরু এবং আবিষ্ট মেরুর ভিতরকার দূরত্বের উপর আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ নির্ভর করে না।

19. নিম্নে কতকগুলি উক্তি আছে এবং প্রত্যেক উক্তির পাশে একটি ব্যাখ্যা দেওয়া আছে। ব্যাখ্যাটি শুদ্ধ কি অশুদ্ধ কারণসহ উত্তর দাও :

উক্তি	ব্যাখ্যা
(a) একটি দণ্ড-চুম্বকের দুই প্রান্ত এক এক করিয়া একটি চুম্বকশলাকার উত্তর-মেরুর কাছে আনিলে, প্রত্যেকবারই বিকর্ষণ দেখা গেল।	দণ্ড-চুম্বকে উপমেরুর উদ্ভব হইয়াছে।
(b) উত্তপ্ত করিলে চুম্বকের চুম্বকত্ব দুর্বল হইয়া পড়ে।	উত্তাপে চুম্বকের কিছু অণুচুম্বক বাষ্পায়িত হইয়া যায়।
(c) দুইটি সমমেরুর ভিতর বিকর্ষণ দেখা যায়।	বিকর্ষণ চুম্বকত্বের প্রকৃষ্ট প্রমাণ।
(d) যখন কোন লৌহদণ্ডের এক প্রান্ত দিয়া কোন দণ্ড-চুম্বককে দৈর্ঘ্য বরাবর ঘষা যায় তখন দণ্ড-চুম্বকের কেন্দ্রস্থলে কোন আকর্ষণ অনুভূত হয় না।	চুম্বকের আকর্ষণী শক্তি মেরুতে আবদ্ধ থাকে।
(e) চৌম্বক মেরুর কাছে চৌম্বক কম্পাস ঠিক দিক্-নির্দেশ করিতে পারে না।	মেরুতে চৌম্বক ক্ষেত্র ঠিক অভিলম্ব।
(f) চুম্বক নরম-লোহার দণ্ডকে আকর্ষণ করে।	আকর্ষণের পূর্বে আবেশ হয়।

তড়িৎ বিজ্ঞান

স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞানের সাধারণ বিষয়াদি

(General facts of electrostatics)

1-1. সূচনা ঃ

খ্রীষ্টপূর্ব 600 অব্দে প্রাচীন গ্রীক্ পণ্ডিতগণ লক্ষ্য করেন Amber নামক একটি বস্তুকে (ইহা একপ্রকার পাইন গাছের শক্ত আঠা) রেশমী কাপড় দিয়া ঘষিলে উহা ছোট ছোট কাগজের টুকরা বা অন্য কোন হাল্‌কা জিনিসকে আকর্ষণ করিতে পারে। তোমরা হয়ত অনেকে লক্ষ্য করিয়া থাকিবে শীতকালে সেলুলয়েড ও গাটাপার্চার চিরুনি দিয়া চুল আঁচড়াইবার পর ঐ চিরুনি ছোট, ছোট কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। কিন্তু গ্রীক্ পণ্ডিতগণের ঐ ব্যাপার লক্ষ্য করিবার পর আর কেহ ঐ সম্বন্ধে বিশেষ আগ্রহ প্রকাশ করেন নাই। পরে 1600 খ্রীষ্টাব্দে ডাঃ গিলবার্ট এ সম্বন্ধে বিস্তারিত অনুসন্ধান করেন এবং দেখিতে পান Amber ছাড়া আরও অনেক পদার্থে ঐ গুণ বর্তমান। গ্রীক্‌ভাষায় Amber-কে electron বলে বলিয়া সম্ভবত ডাঃ গিলবার্ট এই ব্যাপারকে electrification (বা **তড়িতাহিতকরণ**) নাম দেন। রেশমদ্বারা ঘষা Amber-এর ন্যায় যে বস্তু অন্যান্য হাল্‌কা জিনিসকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা রাখে তাহাকে বলা হয় **তড়িতাহিত** (electrified) বস্তু এবং এই ধরনের তড়িৎকে বলা হয় **স্থির-তড়িৎ** (static electricity)।

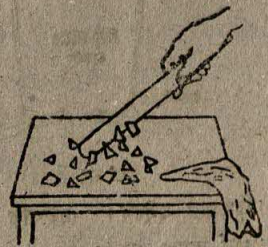
1-2. ঘর্ষণে তড়িৎ সৃষ্টি (Electrification by rubbing) ঃ

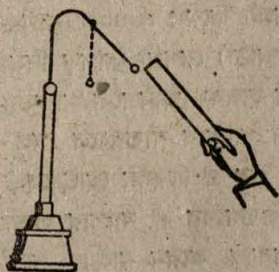
পরীক্ষা ঃ একটি কাচের দণ্ড ও এক টুকরা রেশমী কাপড় লইয়া সূর্যকিরণে শুষ্ক ও উষ্ণ কর। অতঃপর রেশমী কাপড় দিয়া কাচদণ্ডকে বেশ কয়েকবার ঘষিয়া ছোট ছোট কাগজের টুকরার সামনে ধর। দেখিবে, কাচদণ্ড কাগজের টুকরাগুলিকে আকর্ষণ করিতেছে (1 নং চিত্র)।

কাচদণ্ড কাগজের টুকরাগুলিকে আকর্ষণ করিতেছে

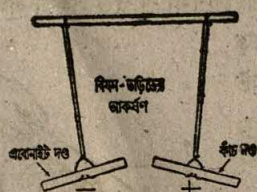
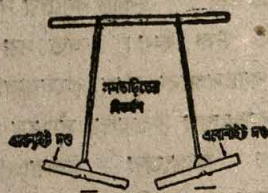
চিত্র নং 1

উক্ত কাচদণ্ডকে রেশমী কাপড় দিয়া ঘষিবার পর একটি ঝুলন্ত শোলার বলের কাছে লইলে কাচদণ্ড কর্তৃক বলটি আকর্ষিত হইতে দেখা যাইবে (2 নং চিত্র)।

একখণ্ড গালা (sealing wax) বা একটি এবোনাইট-দণ্ডকে (অর্থাৎ আবলুস কাঠের দণ্ড) ফ্লানেল বা বিড়ালের চামড়া (cat's skin) দ্বারা ঘষিয়া এই পরীক্ষা করা যাইতে পারে।

এই সকল পরীক্ষা হইতে বোঝা যায়, কোন বস্তুকে উপযুক্তভাবে ঘর্ষণ করিলে ঐ বস্তু হাল্‌কা জিনিসকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা লাভ করে। তখন ঐ বস্তুকে তড়িতাহিত বা তড়িৎগ্রস্ত বলা হয়।

সুযোগ ও সুবিধা পাইলে কোন বস্তুতে ঘর্ষণজনিত তড়িতের পরিমাণ বিপদজনকভাবে বৃদ্ধি পাইতে পারে। পেট্রল ভর্তি ট্রাক চলিবার সময় আধারে রাখা পেট্রলে খুব নাড়াচাড়া পড়ে। এইরূপ ঘর্ষণের ফলে তড়িৎ উৎপন্ন হয়। এই তড়িৎ ক্রমশ সঞ্চিত হইয়া স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করিতে পারে। পেট্রল সাংঘাতিক দাহ্য পদার্থ বলিয়া স্ফুলিঙ্গের দ্বারা প্রচণ্ড বিস্ফোরণের আশঙ্কা থাকে। ঘর্ষণজাত তড়িৎ যাহাতে সঞ্চিত না হইতে পারে সেই উদ্দেশ্যে একটি ধাতব শিকল ট্রাকের দেহের সহিত যুক্ত করিয়া মাটি পর্যন্ত ঝুলাইয়া দেওয়া হয়; ট্রাক চলিবার সময় শিকল মাটিতে গড়াইতে গড়াইতে যায়। ইহাতে ঘর্ষণজাত তড়িৎ উৎপন্ন হইবার সঙ্গে সঙ্গে শিকলের মাধ্যমে মাটিতে চলিয়া যায়—জমিবার সুযোগ পায় না।

কাচদণ্ড শোলা বলকে আকর্ষণ করিতেছে
চিত্র নং 2

1-3. ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ (Positive and negative electricity) :
নিম্নলিখিত পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণ করা যায়, তড়িৎ দুই প্রকারের।

পরীক্ষা : একটি কাচদণ্ডকে রেশম দিয়া ঘষিয়া সিল্কের সুতাদ্বারা ঝুলানো একটি দোলনার (stirrup) উপরে রাখ। রেশম দিয়া ঘষিবার ফলে কাচদণ্ড

চিত্র নং 3 (i)

চিত্র নং 3 (ii)

তড়িৎগ্রস্ত হইবে। এইবার একটি এবোনাইট-দণ্ডকে পশম দিয়া ঘষিয়া কাচ দণ্ডের কাছে অনুরূপভাবে ঝুলাও। দেখা যাইবে, উহারা পরস্পরকে আকর্ষণ করিতেছে। [3 (i) নং চিত্র]।

এইবার কাচদণ্ডকে সরাইয়া আর একটি এবোনাইট দণ্ড পূর্বের এবোনাইট-দণ্ডের ন্যায় ঘষিয়া পাশাপাশি ঝুলাও। এবার দেখা যাইবে উহারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করিতেছে [3 (ii) নং চিত্র]। দুইটি এবোনাইট-দণ্ডের পরিবর্তে দুইটি কাচ দণ্ড রেশম দিয়া ঘষিয়া পাশাপাশি ঝুলাইলেও বিকর্ষণ লক্ষিত হইবে।

এই পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় কাচে এবং এবোনাইটে দুই রকম তড়িতের উদ্ভব হয়। কারণ, কাচের এবং এবোনাইটের তড়িতের ভিতর আকর্ষণ হয় এবং কাচের তড়িৎ কাচের তড়িৎকে বা এবোনাইটের তড়িৎ এবোনাইটের তড়িৎকে বিকর্ষণ করে।

ইহা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি (i) **ঘর্ষণে দুই রকম তড়িৎ উৎপন্ন হয় এবং** (ii) **দুইটি সম-তড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং দুইটি বিষম-তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে।**

বিজ্ঞানীগণ সর্বসম্মতভাবে স্থির করেন যে, রেশম দ্বারা ঘষা কাচদণ্ডে যে তড়িতের উদ্ভব হয় তাহাকে **ধনাত্মক** (positive) তড়িৎ এবং পশম দ্বারা ঘষা এবোনাইটে যে তড়িতের সৃষ্টি হয় তাহাকে **ঋণাত্মক** (negative) তড়িৎ বলা হইবে। 'ধনাত্মক' ও 'ঋণাত্মক' এই নামের অন্য কিছু তাৎপর্য নাই—শুধু ইহাই বুঝায় যে, তড়িৎ দুই প্রকারের।

এখানে একটি কথা উল্লেখযোগ্য। কাচকে যে-কোন জিনিস দিয়া ঘষিলে সর্বদা ধনাত্মক বা এবোনাইটকে যে-কোন জিনিস দিয়া ঘষিলে সর্বদা ঋণাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হইবে, তাহা নয়। নীচে একটি তালিকা দেওয়া হইল। এই তালিকার যে-কোন দুইটি বস্তু ঘর্ষণ করিলে ক্রমিক সংখ্যা অনুযায়ী প্রথমটি ধনাত্মক এবং দ্বিতীয়টি ঋণাত্মক তড়িৎ পাইবে।

1. পশম
2. কাচ
3. রেশম
4. মানুষের দেহ
5. ধাতব পদার্থ
6. এবোনাইট
7. গালা
8. অ্যাম্বার
9. রজন (Resin)

উপরের তালিকা হইতে বোঝা যায় যে একই বস্তুকে দুইটি বিভিন্ন বস্তু দিয়া ঘর্ষণ করিলে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুই রকম তড়িৎ উৎপন্ন করা যায়। যেমন, এবোনাইটকে পশম দিয়া ঘষিলে এবোনাইটে ঋণাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হইবে, কিন্তু রজন দিয়া ঘষিলে ধনাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হইবে।

1-4. আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ তড়িতাহিতের প্রকৃষ্ট প্রমাণ (Repulsion is a surer test of electrification than attraction) :

আমরা দেখিয়াছি, সমতড়িতের ভিতর বিকর্ষণ এবং বিষম তড়িতের ভিতর আকর্ষণ হয়। আবার তড়িৎগ্রস্ত বস্তু তড়িৎবিহীন বস্তুকে আকর্ষণ করে। সুতরাং কোন বস্তু তড়িতাহিত কিনা আকর্ষণ দ্বারা বোঝা হয় না—বিকর্ষণ দ্বারা বোঝা যায়।

ধরা যাক, A-বস্তুকে অন্য একটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তু B-এর সম্মুখে আনিলে আকর্ষণ লক্ষিত হইল। A-বস্তু এস্থলে তড়িৎগ্রস্ত কি-না সে সম্বন্ধে কোন স্থির সিদ্ধান্ত করা সম্ভব নয়; কারণ A-বস্তু তড়িৎগ্রস্ত হইতে পারে, আবার তড়িৎবিহীনও হইতে পারে। উভয় ক্ষেত্রেই আকর্ষণ লক্ষিত হইবে।

কিন্তু যদি বিকর্ষণ লক্ষিত হয় তবে A-বস্তু যে তড়িৎগ্রস্ত সে সম্বন্ধে কোন সন্দেহ থাকিতে পারে না। কারণ বিকর্ষণ একমাত্র সমতড়িতের ভিতর ছাড়া অন্য কোন ক্ষেত্রে হয় না। সুতরাং A-বস্তুতে B-এর সমতড়িৎ বর্তমান অর্থাৎ A-বস্তু তড়িৎগ্রস্ত।

সুতরাং ইহা বলা যায়, বিকর্ষণই তড়িতাহিতের প্রকৃষ্ট প্রমাণ। এস্থলে উল্লেখ করা যাইতে পারে, চুম্বকের বেলাতেও অনুরূপ ঘটনা ঘটে।

1-5. পরিবাহী (Conductor) **ও অপরিবাহী** (Non-conductor) **বা অন্তরক** (Insulator) **ঃ**

একটি পিতলের দণ্ডকে হাতে ধরিয়া, রেশম, ফ্লানেল বা বিড়ালের চামড়া—যে-কোন বস্তু দিয়া ঘষিয়া ছোট ছোট কাগজের টুকরার সামনে ধরিলে কোন আকর্ষণই লক্ষিত হইবে না; অর্থাৎ, দণ্ড তড়িতাহিত হইবে না।

অথচ উক্ত ঘর্ষণকারী বস্তুগুলি দ্বারা কাচ, গালা, এবোনাইট প্রভৃতি বস্তুকে ঘষিয়া সহজেই তড়িতাহিত করা যায়। এই ঘটনা লক্ষ্য করিয়া প্রাচীন বিজ্ঞানী-গণ মনে করিতেন যে, কোন কোন পদার্থ আছে যাহাদের কিছুতেই তড়িতাহিত করা যায় না। কিন্তু এই ধারণা ঠিক নহে। প্রকৃতপক্ষে যে-কোন বস্তুকেই উপযুক্ত ঘর্ষণকারীর সাহায্যে তড়িতাহিত করা যায়। তবে পিতলের দণ্ডে তড়িৎ আসিল না কেন?

এই প্রশ্নের উত্তর এই যে পিতলের দণ্ডে তড়িতের সৃষ্টি হইয়াছিল, কিন্তু পিতলের ভিতর দিয়া এবং মানুষের দেহ দিয়া তড়িৎ সহজে চলাচল করে বলিয়া দণ্ডটি হাত দিয়া ধরিয়া রাখিলে ঐ তড়িৎ মানুষের দেহ দিয়া তৎক্ষণাৎ পৃথিবীতে চলিয়া যায়। কাজেই দণ্ডে তড়িতের প্রকাশ হয় না। যদি পিতলের দণ্ড হাতে না ধরিয়া একটি কাঠের হাতলের সাহায্যে ধরা যায় তবে, দেখা যাইবে দণ্ড তড়িতাহিত হইয়াছে। এস্থলে কাঠের ভিতর দিয়া তড়িৎ সহজে চলাচল করিতে পারে না বলিয়া তড়িৎ দণ্ডে আবদ্ধ থাকে।

কাজেই আমরা এই সিদ্ধান্তে আসিতে পারি, কোন কোন বস্তু আছে যাহার ভিতর দিয়া তড়িৎ সহজে চলাচল করিতে পারে এবং কোন কোন বস্তুর ভিতর দিয়া সহজে চলাচল করিতে পারে না। প্রথমোক্ত বস্তুকে তড়িতের **পরিবাহী** (conductor) বলে এবং শেষোক্ত বস্তুকে তড়িতের **অপরিবাহী** (non-conductor) বা **অন্তরক** (insulator) বলা হয়।

সাধারণত সব ধাতুই ভাল তড়িৎবাহী। ইহাদের ভিতর আবার তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম খুব ভাল পরিবাহী। লক্ষ্য করিয়া থাকিবে, বৈদ্যুতিক তার প্রায়ই তামার তৈরী হয়। ধাতব পদার্থ ছাড়া মাটি, নরদেহ, কার্বন, কয়লা প্রভৃতি পরিবাহীর উদাহরণ।

শুষ্ক বায়ু, কাচ, কাগজ, মোম, এবোনাইট, পোর্সিলেন, বেকেলাইট প্রভৃতি অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ। বিশুদ্ধ জল তড়িতের অপরিবাহী কিন্তু জলে কয়েক ফোঁটা অ্যাসিড ঢালিলে, জল তড়িতের উত্তম পরিবাহী হয়। তোমরা হয়তো দেখিয়াছ, টেলিগ্রাফ, টেলিফোনের তার বা বিদ্যুৎ সরবরাহ ব্যবস্থার তার খাটাইবার সময় ইলেকট্রিক পোস্টের সহিত তার সরাসরি সংযুক্ত করা হয় না। পোর্সিলেন বাটির মাধ্যমে (porcelain cups) খাটানো হয়। পোস্টের সহিত সরাসরি তার সংযুক্ত থাকিলে পোস্ট দিয়া সর্বদা মাটিতে তড়িৎক্ষরণ (leakage of electricity) হইবে এবং ঐ পোস্ট কোন লোক স্পর্শ করিলে তৎক্ষণাৎ সে তড়িৎস্পৃষ্ট হইবে। পোর্সিলেন তড়িৎ অন্তরক; কাজেই পোর্সিলেন বাটির মাধ্যমে তার খাটাইলে, পোস্ট দিয়া তড়িৎ-ক্ষরণ হইবে না এবং তড়িৎস্পৃষ্ট হইবার আশঙ্কা থাকিবে না। পরীক্ষাগারে তড়িৎ সংক্রান্ত কাজে যে-সকল সংযোগী তার (connecting wires) ব্যবহার করা হয় তাহা রেশম বা সূতীর কাপড় দিয়া ঢাকিয়া রাখা হয়। উহা অপরিবাহী বলিয়া তারে তারে ঠেকিয়া গেলেও কাজের বিঘ্ন হয় না। এই ধরনের তারকে অন্তরিত তার (insulated wire) বলা হয়।

ইহা মনে রাখিতে হইবে, **কোন পদার্থই সম্পূর্ণ অপরিবাহী নয়।** উপরে যে অপরিবাহী পদার্থের উদাহরণ দেওয়া হইল তাহাদের ভিতর দিয়া তড়িৎ তুলনামূলকভাবে খুব কম চলাচল করিতে পারে বলিয়াই অপরিবাহী বলা হয়।

[**দ্রষ্টব্য**ঃ জলীয়-বাষ্প তড়িতের পরিবাহী বলিয়া স্থির তড়িতের কোন পরীক্ষায় পরীক্ষাধীন বস্তুগুলিতে জলীয়-বাষ্প থাকিলে তড়িৎ সহজে চলাচল করিতে পারিবে এবং বস্তুগুলিতে তড়িৎ আবদ্ধ থাকিবে না। পরীক্ষা সাফল্যমণ্ডিত করিতে হইলে, বস্তুগুলি শুষ্ক রাখিতে হইবে। বর্ষাকালে আবহাওয়া সিক্ত থাকে বলিয়া স্থির তড়িতের কোন পরীক্ষা বর্ষাকালে ভাল হয় না; শীতকালে আবহাওয়া শুষ্ক থাকে; পরীক্ষাও খুব সন্তোষজনক হয়।]

1-6. তড়িৎ-আধানের অস্তিত্ব নির্ণয়ের যন্ত্র (Instruments of detection of electric charge)ঃ

কোন বস্তুতে তড়িৎ-আধান (electric charge) আছে কি-না তাহা দুইটি সহজ যন্ত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। ইহার নামঃ (1) **শোলা-বল তড়িৎ-বীক্ষণ** (Pith-ball electroscope) ও (2) **স্বর্ণপত্র** (Gold-leaf) **তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র।** ইহাদের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী নিম্নে বর্ণনা করা হইল।

(1) **শোলা-বল তড়িৎ-বীক্ষণ ঃ** এই যন্ত্রে একটি ছোট গোলাকার শোলার বল একগাছা সিল্কের সুতা দ্বারা ঝুলানো থাকে (4 নং চিত্র)। ইহাই শোলা-বল তড়িৎবীক্ষণ।

যদি শোলা-বলটি তড়িতাহিত না থাকে তবে কোন তড়িৎ-গ্রস্ত বস্তু বলটির কাছে আনিলে বল বস্তু কর্তৃক আকর্ষিত হইবে।

স্থির অবস্থা হইতে বল আকর্ষিত হইয়া কতখানি সরিয়া আসে তাহা হইতে বস্তু কতটা তীব্রভাবে তড়িতাহিত সে সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা করা যায়।

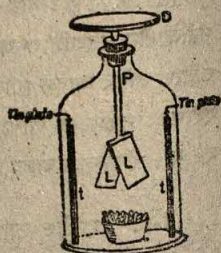
শোলা-বল তড়িৎবীক্ষণ

চিত্র নং 4

বস্তুতে কি ধরনের তড়িৎ বর্তমান—ধনাত্মক বা ঋণাত্মক —তাহা নির্ণয় করিতে গেলে শোলা-বলকে পূর্বে যে-কোন প্রকার তড়িৎ কর্তৃক আহিত করিয়া লইতে হইবে। পরে তড়িৎগ্রস্ত বস্তুকে আস্তে আস্তে বলটির কাছে আনিলে যদি বিকর্ষণ লক্ষিত হয় তবে বুঝিতে হইবে, বস্তু ও বলে একই ধরনের তড়িৎ বর্তমান। আর যদি আকর্ষণ লক্ষিত হয় তবে বুঝিতে হইবে বস্তুতে বলের বিপরীত তড়িৎ বর্তমান।

এইরূপে শোলা-বল তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রদ্বারা আমরা বুঝিতে পারি, কোন বস্তু তড়িৎগ্রস্ত কি-না এবং তড়িৎগ্রস্ত হইলে উহাতে কি ধরনের তড়িৎ বর্তমান।

(2) **স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ ঃ** শোলা বল তড়িৎবীক্ষণ অপেক্ষা এই যন্ত্র বেশী কার্যকর। ইহা দ্বারা খুব সূক্ষ্মভাবে তড়িৎ আধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি নির্ণয় করা সম্ভব।

বিবরণ ঃ 5 নং চিত্রে এই যন্ত্রের ছবি দেখানো হইল। দুইটি হালকা ও পাতলা সোনার পাত (L, L) একটা ধাতব দণ্ড P-এর নিম্নপ্রান্তে সংযুক্ত। পাত দুইটি সোনার না হইয়া অ্যালুমিনিয়াম বা অন্য কোন হাল্কা ধাতুরও হইতে পারে। ধাতব দণ্ডটি একটি কাচের জানালাযুক্ত ধাতব পাত্রের ভিতর রাখা থাকে এবং ইহা এবোনাইট বা অনুরূপ কোন অন্তরক পদার্থ নির্মিত ছিপির ভিতর দিয়া ঢুকানো হয়। দণ্ডের উপর প্রান্তে এবং ধাতবপাত্রের বাহিরে একটি ধাতব চাক্তি D আটকানো। স্বর্ণ-পত্র দুইটি কাচের জানালা-যুক্ত পাত্রের ভিতরে থাকায় বায়ুপ্রবাহ কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে না। দুইটি টিনের পাত (t, t) স্বর্ণপত্রদ্বয়ের সামনে এবং পাত্রের ভিতরের গায়ে আটকানো থাকে। টিনপাতসহ ধাতবপাত্রটি সাধারণত ভূসংলগ্ন (earthed) থাকে। পাত্রস্থ বায়ু যাহাতে সর্বদা শুষ্ক

স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ

চিত্র নং 5

থাকে সেই জন্য ইহার ভিতর একটি বাটিতে কিছু ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড রাখা থাকে। বায়ু ভিজা থাকিলে স্বর্ণপত্রের কার্যে বিঘ্ন উপস্থিত হয়।

পরিবহন দ্বারা তড়িৎবীক্ষণকে আহিতকরণ (Charging the electroscope by conduction)ঃ পরিবহন দ্বারা এই যন্ত্রকে আহিত করিতে হইলে একটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর সাহায্য লইতে হইবে। একটি কাচদণ্ডকে রেশম দিয়া ঘষিলে কাচদণ্ডে ধনাত্মক তড়িতের উদ্ভব হয়। ঐ কাচদণ্ড তড়িৎবীক্ষণের চাকতির সহিত স্পর্শ করাইলে দণ্ডের তড়িতের খানিকটা যন্ত্রে ছড়াইয়া পড়িবে। ফলে সোনার পাত দুইটি একই রকম তড়িৎ পাইয়া পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে এবং ফাঁক হইয়া পড়িবে। এই অবস্থায় বলা যায়, যন্ত্রকে পরিবহণদ্বারা ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হইল।

ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করিতে হইলে পশমদ্বারা ঘষা এবোনাইট দণ্ডকে অনুরূপভাবে চাক্‌তি স্পর্শ করাইলে পত্র দুইটি ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়া ফাঁক হইয়া যাইবে। কারণ, আমরা জানি পশম দ্বারা এবোনাইট ঘষিলে এবোনাইটে ঋণাত্মক তড়িতের উদ্ভব হয়।

এই প্রণালীতে তড়িৎবীক্ষণকে আহিতকরণের একটি অসুবিধা আছে। যদি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুতে বেশী তড়িৎ থাকে তবে উহাকে D-চাক্‌তির সহিত স্পর্শ করানো মাত্র পত্রদ্বয়ের এত বেশী বিস্ফারণ (divergence) হইবে যে উহারা P-দণ্ড হইতে খসিয়া পড়িতে পারে। এই কারণে পরিবহনদ্বারা এই যন্ত্রকে আহিতকরণে যথেষ্ট সাবধানতা অবলম্বন করিতে হয়।

তড়িৎবীক্ষণের ব্যবহারঃ প্রথমত কোন বস্তু আহিত কি-না তাহা নির্ণয় করিতে গেলে বস্তুকে তড়িৎবিহীন (uncharged) তড়িৎবীক্ষণের চাক্‌তি D-এর নিকট আনিতে হইবে। বস্তু আহিত হইলে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণ-পত্র দুইটি ফাঁক হইয়া যাইবে এবং কতটা ফাঁক হইল তাহা হইতে বস্তুতে আধানের তীব্রতা (intensity) সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা করা যাইতে পারে।

যদি বস্তু আহিত না হয় তবে চাক্‌তির কাছে আনিলে স্বর্ণ-পত্র দুইটি ফাঁক হইবে না।

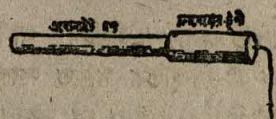
দ্বিতীয়ত, তড়িৎগ্রস্ত বস্তুতে কি ধরনের তড়িৎ বর্তমান তাহা জানিতে হইলে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রকে পূর্বে কোন জানা তড়িৎকর্তৃক আহিত করিয়া লইতে হইবে। ধরা যাউক, যন্ত্রকে ধনাত্মক তড়িৎ কর্তৃক আহিত করা হইল। এই অবস্থায় স্বর্ণ-পত্র দুইটি ধনাত্মক তড়িৎ পাইয়া ফাঁক হইয়া থাকিবে। এখন পরীক্ষাধীন বস্তুকে চাক্‌তির কাছে আনিলে যদি পাত দুইটির ফাঁক আরও বাড়িয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে বস্তুতে ধনাত্মক তড়িৎ বর্তমান; আর যদি ফাঁক কিছু কমিয়া যায়, তবে বস্তুতে বিপরীত অর্থাৎ ঋণাত্মক তড়িৎ বর্তমান।

কাজেই স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণদ্বারা বস্তু তড়িৎগ্রস্ত কি-না এবং তড়িৎগ্রস্ত হইলে কি ধরনের তড়িৎ বর্তমান তাহা সুষ্ঠুরূপে নির্ণয় করা যায়।

1-7. ঘর্ষণে সমপরিমাণ উভয় তড়িতের উৎপত্তি হয় (Friction produces both kinds of electricity in equal amount) ঃ

ঘর্ষণপ্রণালীতে একই সঙ্গে উভয় প্রকার তড়িতের উৎপত্তি হয় এবং তাহাদের পরিমাণও সমান হয়। ইহা নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা ঃ একটি এবোনাইট দণ্ড লও এবং উহার এক মাথায় একটি ফ্লানেলের টুপী পরাও। টুপীর সহিত একগোছা রেশমী সুতা যুক্ত কর যাহাতে হাত দিয়া স্পর্শ না করিয়া সুতার সাহায্যে টুপী দণ্ড হইতে পৃথক্ করা যায় (6 নং চিত্র)।

এইবার ফ্লানেলের ঐ টুপীদ্বারা দণ্ডকে ঘর্ষণ করিলে তড়িতের উদ্ভব হইবে। পৃথক্ না করিয়া উভয়কে একসঙ্গে একটি নিস্তড়িৎ তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনো। দেখিবে স্বর্ণ-পত্রের কোন বিস্ফারণ (divergence) হইল না। ইহা হইতে বোঝা যায়, একসঙ্গে থাকাকালীন ইহাদের কোন তড়িৎ নাই।

চিত্র নং 6

এইবার সুতা টানিয়া দণ্ড হইতে টুপীকে পৃথক্ কর এবং উভয়কে আলাদা আলাদাভাবে তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা কর। দেখিবে, দণ্ডে ঋণাত্মক তড়িৎ এবং টুপীতে ধনাত্মক তড়িৎ বর্তমান।

দণ্ড এবং টুপীতে বিপরীতধর্মী তড়িৎ বর্তমান অথচ একসঙ্গে থাকাকালীন উহারা কোন তড়িতের অস্তিত্ব দেখায় না। ইহা প্রমাণ করে, উভয় তড়িতের পরিমাণ সমান, কারণ, সমপরিমাণ বিপরীত তড়িৎ পরস্পরের তড়িৎক্রিয়াকে প্রশমিত (neutralised) করিয়া দেয়।

সুতরাং এই পরীক্ষা হইতে সিদ্ধান্ত করা যায়, ঘর্ষণের ফলে সমপরিমাণ উভয় প্রকারের তড়িতের উদ্ভব হয়।

1-8. আধান পরীক্ষণ (Proof plane) ঃ

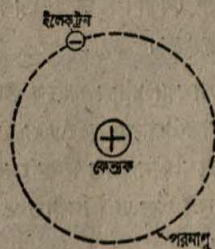
কোন বস্তু তড়িতাহিত কি-না তাহা পরীক্ষা করিবার জন্য এই যন্ত্রের সাহায্য লইতে হয়। 7 নং চিত্রে ইহার ছবি দেওয়া হইল। এই যন্ত্রে এবোনাইট, কাচ বা কোন অন্তরক পদার্থ দ্বারা তৈয়ারী একটি হাতলের সঙ্গে ছোট একটি ধাতব চাক্তি সংযুক্ত থাকে। তড়িতাহিত বস্তুর সঙ্গে এই চাক্তি স্পর্শ করাইলে বস্তু হইতে চাক্তি

আধান পরীক্ষক

চিত্র নং 7

সামান্য তড়িৎ গ্রহণ করিবে। পরে হাতল ধরিয়া এই চাক্তিকে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের কাছে আনিলে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ হইবে। এইরূপ যন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তু তড়িতাহিত কি-না তাহা পরীক্ষা করা যায়। সাধারণত কোন বস্তু খুব বেশী তড়িতাধান কর্তৃক আহিত হইলে বা বস্তুকে নাড়ানো অসুবিধাজনক হইলে আধান পরীক্ষকের সাহায্য লওয়া হয়।

1-9. তড়িতের ইলেকট্রনীয় মতবাদ (Electronic theory of electricity) **:** তড়িৎ-সম্পর্কীয় বিভিন্ন ঘটনা ব্যাখ্যা করিবার জন্য ভিন্ন ভিন্ন সময়ে কতকগুলি মতবাদ প্রচলিত ছিল। এই সমস্ত মতবাদকে খণ্ডন করিয়া আধুনিক বিজ্ঞান কর্তৃক গৃহীত মতবাদকে ইলেক্ট্রনীয় মতবাদ বলা হয়। এই মতবাদের প্রবর্তকদের মধ্যে অন্যতম হইলেন বিশিষ্ট পদার্থবিদ্ স্যার জে. জে. টমসন।

এই পুস্তকের গোড়ার দিকে পদার্থের গঠনতত্ত্ব সম্বন্ধে আলোচনাকালে বলা হইয়াছে, প্রত্যেক বস্তু যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাদ্বারা গঠিত, তাহাদের বলা হয় পরমাণু। এই পরমাণু আবার আরও ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কনিকাদ্বারা গঠিত। তাহাদের নাম দেওয়া হইয়াছে **ইলেকট্রন**। ইলেক্ট্রন **ঋণাত্মক তড়িৎ-সম্পন্ন**। ইহা একটি ধনাত্মক তড়িৎসম্পন্ন কেন্দ্রক (nucleus)-কে প্রদক্ষিণ করিয়া সতত ঘূর্ণমান (৪নং চিত্র)। এই কেন্দ্রক দুই রকম কণাদ্বারা তৈয়ারী। ইহারা হইতেছে—ধনাত্মক তড়িৎসম্পন্ন কণা **প্রোটন** ও নিস্তড়িত কণা **নিউট্রন**। একটি প্রোটনের ধনাত্মক তড়িৎ একটি ইলেক্ট্রনের ঋণাত্মক তড়িতের সমান। একটি গোটা পরমাণুতে সমান সংখ্যক প্রোটন ও ইলেক্ট্রন থাকে। সুতরাং একটি গোটা পরমাণুতে কোনরকম তড়িৎধর্মের প্রকাশ পায় না। কোনরকমে পরমাণুতে ইলেক্ট্রন সংখ্যার আধিক্য বা হ্রাস করিতে পারিলে পরমাণু ঋণ-তড়িৎ বা ধন-তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়িবে। ইহাকেই সংক্ষেপে তড়িতের ইলেক্ট্রনীয় মতবাদ বলে।

পরমাণুতে ইলেক্ট্রন ও কেন্দ্রক
চিত্র নং ৪

ইলেক্ট্রন প্রত্যেক পদার্থের পরমাণুতে বর্তমান। কাজেই ইহাকে পদার্থের মূল উপাদান (fundamental constituent) বলা যাইতে পারে। ইহা ওজনে সর্বাপেক্ষা হাল্কা এবং ইহার তড়িৎ-পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, প্রতি ইলেক্ট্রনের তড়িৎ-পরিমাণ $4{\cdot}8036 \times 10^{-10}$ e.s.u.-এর সমান। এই তড়িৎ-পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম হওয়াতে ইহাকে 'একক' (unit) ধরা হয়।

ইলেকট্রন তত্ত্ব দ্বারা ঘর্ষণজাত তড়িতের ব্যাখ্যা ঃ প্রত্যেক পরমাণুতে নিউক্লীয়াসস্থিত ধনাত্মক তড়িতাধানকে প্রশমিত করার জন্য যে কয়টি ইলেক্‌ট্রন প্রয়োজন তাহা থাকে। কিন্তু প্রত্যেক পরমাণুরই ঐ প্রয়োজনীয় ইলেক্‌ট্রন সংখ্যার অতিরিক্ত ইলেকট্রনের প্রতি একটা আসক্তি বা আকর্ষণ থাকে। প্রয়োজনীয় সংখ্যার অতিরিক্ত ইলেক্‌ট্রনের প্রতি এই আকর্ষণ বিভিন্ন পরমাণুতে বিভিন্ন। তাই, যখন দুটি ভিন্ন বস্তুকে পরস্পরের সহিত সংস্পর্শে আনা হয় তখন, যে বস্তুতে উপরোক্ত আসক্তি বা আকর্ষণ বেশী সেই বস্তু অপর বস্তু হইতে কাছাকাছি ইলেক্‌ট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিয়া লইবে এবং ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইবে। এই ধরনের ঘটনা ঘটে যখন এবোনাইট দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষা হয়। পশমের তুলনায় এবোনাইটের ইলেক্‌ট্রন-আসক্তি বেশী বলিয়া এবোনাইট দণ্ড ঋণাত্মক তড়িৎ পায় এবং পশমে ইলেক্‌ট্রন ঘাটতি হওয়ায় উহা ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়।

তেমনি, রেশম দ্বারা কাচদণ্ড ঘষিলে, কাচদণ্ড হইতে কিছু সংখ্যক ইলেক্‌ট্রন বিচ্যুত হইয়া রেশমে যুক্ত হয়; কারণ কাচদণ্ডের তুলনায় রেশমের ইলেক্‌ট্রন-আসক্তি বেশী। তাই, রেশম ঋণাত্মক তড়িতে এবং কাচদণ্ড ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়।

আমরা জানি ঘর্ষণে উভয় প্রকার তড়িৎ সমপরিমাণে সৃষ্টি হয়। ইহাও উপরোক্ত ব্যাখ্যা হইতে সহজে বোঝা যায়, কারণ একবস্তু যে-পরিমাণ ইলেক্‌ট্রন হারাইবে অন্য বস্তু ঠিক সেই পরিমাণ ইলেক্‌ট্রন লাভ করিবে। সুতরাং একই সঙ্গে দুই বস্তুতে বিপরীত তড়িতের সৃষ্টি হইবে এবং ইহাদের পরিমাণও সমান হইবে।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে ইলেক্‌ট্রনতত্ত্ব অনুযায়ী অন্তরক ও পরিবাহীর ভিতর পার্থক্য এই যে, অন্তরক পদার্থের পরমাণুতে ইলেক্‌ট্রনগুলি দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ এবং স্বাধীনভাবে ইচ্ছামত চলাচল করিতে পারে না; আর পরিবাহীর ইলেক্‌ট্রনগুলি স্বচ্ছন্দে এক পরমাণু হইতে অন্য পরমাণুতে চলাচল করিতে পারে।

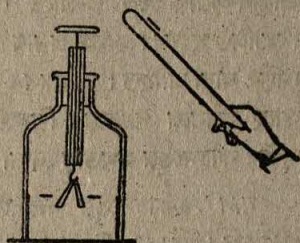
তড়িতাবেশ (Electrostatic induction)

1-10. তড়িতাবেশ কাহাকে বলে ঃ

1-2 অনুচ্ছেদে আমরা দেখিয়াছি, ঘর্ষণের দ্বারা কোন বস্তুকে তড়িতাহিত করা যায়। ঘর্ষণ ছাড়াও আর একটি সহজ উপায় আছে।

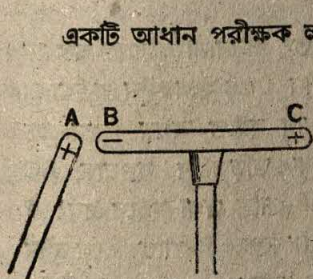
পরীক্ষা ঃ একটি এবোনাইট-দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষিয়া তড়িৎগ্রস্ত কর। এই দণ্ডকে আস্তে আস্তে একটি স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণের চাক্‌তির কাছে আন।

দেখিবে স্বর্ণ-পত্র দুইটির বিস্ফারণ হইতেছে যদিও দণ্ডের সহিত চাক্তির সরাসরি স্পর্শ হয় নাই (9 নং চিত্র)।

ইহা হইতে বোঝা যায়, তড়িৎগ্রস্ত দণ্ডের প্রভাবে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র তড়িতাহিত হইল। এবোনাইট দণ্ডকে সরাইয়া লইলে দেখা যাইবে স্বর্ণ-পত্র দুইটি আবার নিমীলিত (collapsed) হইল। ইহা প্রমাণ করে, তড়িৎবীক্ষণে যে-তড়িতের সঞ্চার হইল তাহা শুধুমাত্র দণ্ডের তড়িতের প্রভাবের ফলেই হইল। **এইভাবে একটি তড়িতাহিত বস্তুকে একটি পরিবাহীর নিকট আনিয়া পরিবাহীকে তড়িৎগ্রস্ত করিবার পদ্ধতিকে তড়িতাবেশ বলা হয়।**

দণ্ড কাছে আনিলে পত্র দুইটির বিস্ফারণ হইবে;
চিত্র নং 9

1-11. আবেশ কর্তৃক উদ্ভূত তড়িতের প্রকৃতি (Nature of electrification produced by induction) :

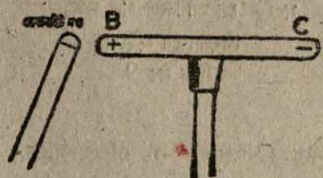
রেশম দিয়া ঘষিয়া একটি কাচদণ্ডকে (A) ধনাত্মক তড়িতে আহিত কর এবং একটি তড়িৎবিহীন পরিবাহীর (BC) নিকটে আন (10 নং চিত্র)। BC-পরিবাহী A-দণ্ডের তড়িৎ কর্তৃক আবিষ্ট হইলে আহিত বা তড়িৎগ্রস্ত হইবে। ইহা নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যাইবে।

একটি আধান পরীক্ষক লইয়া পরিবাহীর B-প্রান্তে স্পর্শ করাও এবং পরে ঐ আধান-পরীক্ষককে স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণের কাছে লইলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ দেখা যাইবে। অর্থাৎ, বোঝা গেল, B-প্রান্ত তড়িতাহিত হইয়াছে। ঐরূপ পরিবাহীর C-প্রান্ত পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে C-প্রান্তও তড়িতাহিত হইয়াছে। কিন্তু BC-পরিবাহীর মধ্যস্থলে আধান পরীক্ষক ছোঁয়াইয়া তড়িৎবীক্ষণের নিকট আনিলে স্বর্ণপত্রের কোন বিস্ফারণ দেখা যাইবে না। ইহা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি, আবেশের ফলে BC পরিবাহীর উভয় প্রান্তই তড়িৎগ্রস্ত হইয়াছে কিন্তু মধ্যস্থলে কোন তড়িৎ নাই।

A-দণ্ড কর্তৃক BC-পরিবাহীতে তড়িতাবেশ হইল
চিত্র নং 10

এখন প্রশ্ন হইতেছে, A-কাচদণ্ডে ধনাত্মক তড়িৎ থাকিলে BC-পরিবাহীর

কোন্ প্রান্ত কিরূপ তড়িৎ দ্বারা আহিত হইবে? এই প্রশ্নের সমাধান নিম্নোক্ত-রূপে করা যায়ঃ

একটি তড়িতাহিত (ধর, ধনাত্মক) স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ লও। এইবার আধান-পরীক্ষককে B-প্রান্তে ছোঁয়াইয়া তড়িৎবীক্ষণের কাছে লইলে পত্রদ্বয় নিমীলিত হইবে। ইহা প্রমাণ করে, B-প্রান্ত ঋণাত্মক অর্থাৎ কাচদণ্ডের বিপরীত তড়িৎ দ্বারা আহিত। ঐরূপ C-প্রান্তে আধান পরীক্ষক ছোঁয়াইয়া তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে। সুতরাং C-প্রান্ত ধনাত্মক অর্থাৎ কাচদণ্ডের সমতড়িৎদ্বারা আহিত।

যদি A-কাচদণ্ডের পরিবর্তে একটি এবোনাইট-দণ্ড পশম দিয়া ঘষিয়া ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করা যায় এবং BC পরিবাহীর কাছে আনা যায় তবে উপরিউক্তভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে B-প্রান্ত ধনাত্মক ও C-প্রান্ত ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইয়াছে এবং মাঝখানে কোন তড়িৎ নাই (11 নং চিত্র)।

B-প্রান্তে ধনাত্মক ও C-প্রান্তে ঋণাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হইবে
চিত্র নং 11

সুতরাং এই পরীক্ষা হইতে বলা যাইতে পারে, তড়িৎবিহীন পরিবাহীর যে-প্রান্ত আহিত বস্তুর নিকটতম সেখানে আহিত বস্তুর বিপরীত তড়িৎ আবিষ্ট **হইবে এবং দূরতম প্রান্তে আহিত বস্তুর সম তড়িৎ আবিষ্ট হইবে এবং মাঝখানে কোন তড়িৎ থাকিবে না।**

ইলেকট্রন তত্ত্ব অনযায়ী ব্যাখ্যাঃ ইলেক্ট্রন তত্ত্ব অনুযায়ী পূর্বোক্ত ঘটনার ব্যাখ্যা খুব সহজ। প্রত্যেক পরিবাহীতে প্রচুর স্বাধীন (free) ইলেক্ট্রন বর্তমান। এই ইলেক্ট্রনগুলি অবাধে পরিবাহীর এক পরমাণু হইতে অপর পরমাণুতে চলাচলে সক্ষম। প্রথম পরীক্ষায় A দণ্ড ধনাত্মক তড়িতগ্রস্ত হওয়ায়, BC পরিবাহীর স্বাধীন ইলেক্ট্রনগুলি আকর্ষিত হইয়া B-প্রান্তে জমা হইবে এবং ঐ প্রান্তে ইলেক্ট্রন সংখ্যার আধিক্য হইবে। অপরপক্ষে, B-প্রান্তে ইলেক্ট্রন চলিয়া আসায় C-প্রান্তে ইলেক্ট্রন সংখ্যার ঘাটতি হইবে। কাজেই, B-প্রান্তে ঋণতড়িৎ এবং C-প্রান্তে ধনতড়িতের উদ্ভব হইবে।

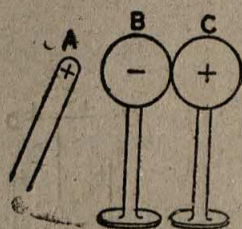
দ্বিতীয় পরীক্ষায়, এবোনাইট দণ্ড ঋণাত্মক তড়িতগ্রস্ত হওয়ায় B-প্রান্তের স্বাধীন ইলেক্ট্রনগুলিকে বিকর্ষণ করিবে। উহারা বিকর্ষিত হইয়া C-প্রান্তে জমা হইবে। সুতরাং B-প্রান্তে ইলেক্ট্রনের ঘাটতি হওয়ায় ঐ স্থানে ধনাত্মক তড়িৎ এবং C-প্রান্তে ইলেক্ট্রন সংখ্যার আধিক্য হওয়ায় ঐ স্থানে ঋণাত্মক তড়িতের উদ্ভব হইবে।

1-12. আবেশী (Inducing) ও আবিষ্ট (Induced) আধান ; মুক্ত (Free) ও বদ্ধ (Bound) আধান ঃ

উপরের পরীক্ষায় কাচদণ্ডের ধনাত্মক তড়িৎ অথবা এবোনাইট দণ্ডের ঋণাত্মক তড়িৎ—যাহা BC-পরিবাহীতে তড়িতাবেশের সৃষ্টি করিল—তাহাকে **আবেশী আধান** (inducing charge) বলে এবং BC-পরিবাহীতে যে আধানের সৃষ্টি হইল তাহাকে **আবিষ্ট আধান** (induced charge) বলে।

তড়িতাবেশের ফলে BC-পরিবাহীর B-প্রান্তে যে-আধান আবিষ্ট হইল তাহা আবেশী আধানের বিপরীত বলিয়া দুই-এর ভিতর আকর্ষণ থাকে। ফলে, উক্ত আধান সহজে নড়াচড়া করিতে পারে না। এই কারণে B-প্রান্তের আধানকে **বদ্ধ আবিষ্ট আধান** (bound induced charge) বলে। কিন্তু C-প্রান্তের আধান আবেশী আধানের সমধর্মাবলম্বী বলিয়া বিকর্ষণ অনুভব করে এবং দূরে সরিয়া যাইতে চায়। A দণ্ডকে না সরাইয়া BC-পরিবাহীকে হাত দিয়া স্পর্শ করিলে বা কোন পরিবাহী তার দিয়া পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত করিয়া দিলে C-প্রান্তের আধান তৎক্ষণাৎ পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে। এই কারণে C-প্রান্তের আধানকে **মুক্ত আবিষ্ট আধান** (free induced charge) বলে।

1-13. আবেশের ফলে একসঙ্গে উভয় প্রকার তড়িৎ সমপরিমাণে সৃষ্টি হয় (Induction develops simultaneously both kinds of electricity in equal amount) ঃ

দুইটি একই আকারের এবং একই ধাতুনির্মিত গোলাকার বল B এবং C লইয়া দুইটি অন্তরক হাতলের সহিত সংযুক্ত কর। এইবার উভয়কে স্পর্শ করাইয়া পাশাপাশি রাখো। একটি কাচদণ্ড (A) রেশম দিয়া ঘষিয়া ধনাত্মক তড়িতে আহিত করিয়া B ও C পরিবাহীর কাছে আন (12 নং চিত্র)। B ও C পরিবাহীতে তড়িতাবেশ হইবে। A দণ্ডকে না নাড়াইয়া B ও C-কে আলাদা কর এবং পৃথক্ পৃথক্‌ভাবে একটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের সামনে আন। B-এর বেলাতে স্বর্ণ-পত্রদ্বয় নিমীলিত হইবে অর্থাৎ B ঋণাত্মক তড়িতাবিষ্ট এবং C-এর বেলাতে স্বর্ণ-পত্রদ্বয় আরও বেশী বিস্তারিত হইবে। সুতরাং C ধনাত্মক তড়িতাবিষ্ট।

আবেশ সমপরিমাণে তড়িৎ উৎপন্ন করে

চিত্র নং 12

এইবার B ও C-কে পুনরায় স্পর্শ করাও এবং A-দণ্ড সরাইয়া লও। এখন B ও C-কে আলাদাভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, কোনটাতেই তড়িৎ নাই।

অর্থাৎ B-এর ঋণাত্মক তড়িৎ এবং C-এর ধনাত্মক তড়িৎ উভয়ে উভয়কে প্রশমিত (neutralised) করিয়াছে। সুতরাং B ও C-তে সমপরিমাণ আধান আবিষ্ট হইয়াছে।

চৌম্বক আবেশ ও তড়িতাবেশের তুলনা :

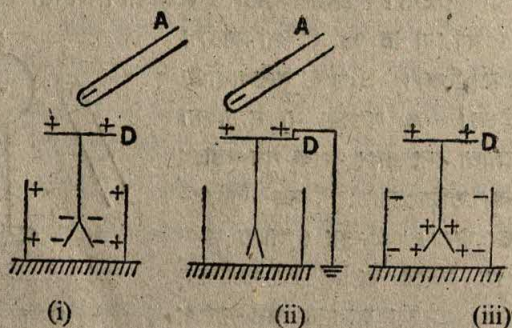
(i) চৌম্বক আবেশে যেমন দুইটি বিপরীত মেরুর উদ্ভব হয় তড়িতাবেশেও তেমনি দুইটি বিপরীত আধানের উৎপত্তি হয়।

(ii) তড়িতাবেশের ক্ষেত্রে আবেশী বস্তু সরাইয়া নিলে তৎক্ষণাৎ আবিষ্ট আধান অন্তর্হিত হয়। কিন্তু চৌম্বক আবেশের ক্ষেত্রে আবেশী বস্তু সরাইয়া নিলে আবিষ্ট চুম্বকত্ব তৎক্ষণাৎ অন্তর্হিত হয় না ; আবিষ্ট চুম্বকত্ব কিছুক্ষণ স্থায়ী হয়।

(iii) তড়িতাবেশ সৃষ্টি করিতে হইলে আবেশী বস্তু ও আবিষ্ট বস্তুর ভিতর কিছু ব্যবধান রাখা প্রয়োজন কিন্তু চৌম্বক আবেশের বেলাতে দুই বস্তুর ভিতর ব্যবধান না রাখিলেও চলে।

(iv) তড়িতাবেশের বেলাতে দুই বিপরীত আবিষ্ট আধানকে সহজে পৃথক করা যায় ; কিন্তু চৌম্বক আবেশ হইয়া দুই বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হইলে, উহাদের পৃথক করা যায় না।

1-14. আবেশ দ্বারা স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে আহিতকরণ (Charging a gold leaf electroscope by induction) **:**

(ক) **ধনাত্মক আধানে আহিতকরণ :** (i) একটি এবোনাইট দণ্ড (A) পশম দিয়া ঘষিয়া ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত কর এবং ঐ দণ্ডকে তড়িৎবীক্ষণের চাকতির (D) কাছে ধর। এক্ষেত্রে এবোনাইট দণ্ডটি আবেশী বস্তু এবং তড়িৎবীক্ষণ

আবেশ দ্বারা স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে ধনাত্মক আধানে আহিতকরণ

চিত্র নং 13

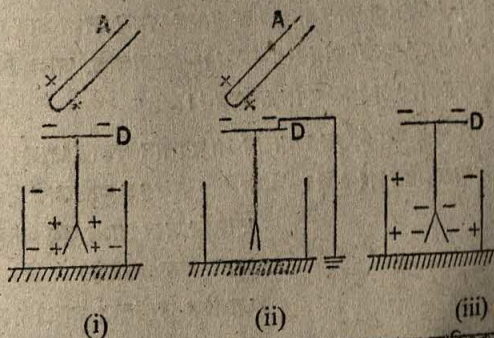
আবিষ্ট বস্তু। তড়িতাবেশের নিয়মানুযায়ী আবিষ্ট বস্তু অর্থাৎ তড়িৎবীক্ষণের নিকটতম প্রান্তে বা চাকতিতে (D) ধনাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হইবে এবং দূরতম

প্রান্তে বা স্বর্ণপত্রদ্বয়ে ঋণাত্মক তড়িতের আবেশ হইবে। স্বর্ণপত্রদ্বয় ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়া ফাঁক হইয়া যাইবে [চিত্র 13 (i)]।

(ii) দণ্ড না সরাইয়া তড়িৎবীক্ষণের চাকতি D হাত দিয়া ক্ষণেকের জন্য স্পর্শ কর। ইহাতে তড়িৎবীক্ষণ ভূমির সহিত সংযুক্ত হইল। ফলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের মুক্ত ঋণাত্মক তড়িৎ ভূমিতে চলিয়া যাইবে এবং পত্র দুইটি নিমীলিত হইবে [চিত্র 13 (ii)]।

(iii) এইবার A দণ্ড সরাইয়া লও। D-চাকতির ধনাত্মক বদ্ধ আধান তড়িৎবীক্ষণের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে এবং স্বর্ণপত্র দুইটি এই ধনাত্মক আধান পাইয়া পুনরায় বিস্ফারিত হইবে [চিত্র 13 (iii)]।

এইরূপে একটি ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত দণ্ডের সাহায্যে আবেশ দ্বারা তড়িৎ-বীক্ষণকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা যায়।

(খ) **ঋণাত্মক আধানে আহিতকরণ ঃ** (i) একটি কাচদণ্ড (A) রেশম দিয়া ঘষিয়া ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত কর এবং ঐ দণ্ডকে তড়িৎবীক্ষণের চাকতির (D) নিকটে আন। তড়িতাবেশের নিয়মানুযায়ী, তড়িৎবীক্ষণের চাকতি ঋণাত্মক আধান পাইবে এবং স্বর্ণপত্রদ্বয়ে ধনাত্মক আধানের আবেশ হইবে। স্বর্ণপত্রদ্বয় এই আধান পাইয়া বিস্ফারিত হইবে [চিত্র 14 (i)]।

আবেশ দ্বারা স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে ঋণাত্মক আধানে আহিতকরণ

চিত্র নং 14

(ii) A দণ্ড না সরাইয়া তড়িৎবীক্ষণের চাকতি D হাত দিয়া মুহূর্তের জন্য স্পর্শ কর—অর্থাৎ তড়িৎবীক্ষণের সহিত ভূমির সংযোগ স্থাপন কর। তখন, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের মুক্ত আবিষ্ট আধান (ধনাত্মক) ভূমিতে চলিয়া যাইবে এবং পত্রদ্বয় নিমীলিত হইবে [চিত্র 14 (ii)]।

(iii) এইবার A-দণ্ড সরাইয়া লও। D-চাকতির ঋণাত্মক বদ্ধ আধান তড়িৎবীক্ষণের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে এবং স্বর্ণপত্র দুইটি ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়া পুনরায় বিস্ফারিত হইবে [চিত্র 14 (iii)]।

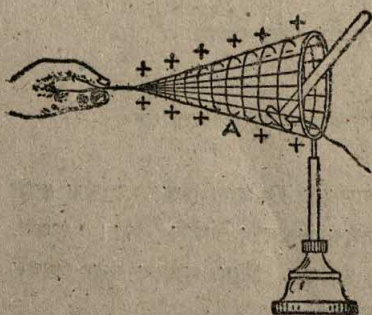
এইভাবে একটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত দণ্ডের সাহায্যে আবেশ দ্বারা তড়িৎ-বীক্ষণকে ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করা যায়। দেখা যাইতেছে যে আবেশ দ্বারা আহিতকরণে আবিষ্ট বস্তু আবেশী বস্তুর বিপরীত আধান পায়।

1-15. আকর্ষণের পূর্বে আবেশ হয় (Induction precedes attraction) ঃ আমরা দেখিয়াছি, কোন তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর নিকট অন্য একটি তড়িৎবিহীন বস্তুকে আনা হইলে আকর্ষণ অনুভূত হয়। এই আকর্ষণের কারণ কি ?

যখন তড়িৎবিহীন বস্তুকে তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর নিকট আনা হয় তখন তড়িতাবেশ হয়। তড়িৎবিহীন বস্তুর যে-প্রান্ত আহিত বস্তুর নিকটতম তথায় বিপরীত আধান এবং দূরতম প্রান্তে সম-আধান আবিষ্ট হয়। কাছাকাছি বিপরীত আধানের আকর্ষণী শক্তি দূরে অবস্থিত সম-আধানের বিকর্ষণী শক্তির চাইতে অনেক বেশী। সুতরাং আবিষ্ট বস্তু আবেশী বস্তু কর্তৃক আকর্ষিত হয়। এই জন্য বলা হয়—আকর্ষণের পূর্বে আবেশ হয়। এই প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যাইতে পারে, চুম্বকের বেলাতেও অনুরূপ ঘটনা ঘটে।

1-16. পরিবাহীর আধান সর্বদা পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে (Charge resides only on the outer surface of a conductor) ঃ

যখন কোন পরিবাহীকে তড়িতাহিত করা হয় তখন দেখা যায় যে, ঐ আধান সর্বদা পরিবাহীর উপর-পৃষ্ঠে অবস্থান করে। প্রজাপতি জাল দিয়া ফ্যারাডে এই ঘটনা খুব সুন্দরভাবে প্রদর্শন করিয়াছিলেন।

পরীক্ষা ঃ A শঙ্কু আকৃতির মসলিন বা কার্পাস সুতার জাল। উহা একটি আংটার সহিত আবদ্ধ [চিত্র নং 15]। আংটাটি অন্তরক হাতলের উপর অবস্থিত। জালের সরু প্রান্তে দুই গাছা লম্বা রেশম সুতা যুক্ত আছে। ঐ সুতা টানিয়া জালকে উল্টানো যায়। কোন তড়িৎ-যন্ত্রের সাহায্যে জালকে তীব্র আধানে আহিত কর। এইবার একটি আধান পরীক্ষক (proof plane) লইয়া জালের ভিতরের পিঠে ছোঁয়াও। আধান পরীক্ষককে তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিলে স্বর্ণপত্রের কোন বিস্ফারণ দেখা যাইবে না। ইহা প্রমাণ করে, জালের ভিতরের পিঠে কোন আধান

প্রজাপতি-জাল পরীক্ষা

চিত্র নং 15

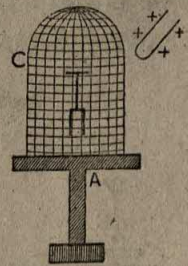
নাই। এইবার আধান পরীক্ষককে জালের বাহিরের পিঠে ছোঁয়াইয়া তড়িৎ-

বীক্ষণের কাছে আনিলে তৎক্ষণাৎ পাতা দুইটি ফাঁক হইয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে জালের বাহিরের পিঠ তড়িৎগ্রস্ত।

এইবার সুতা টানিয়া জালকে উল্টাও অর্থাৎ বাহিরের পিঠ ভিতরে এবং ভিতরের পিঠ বাহিরে আনো। আধান পরীক্ষক দ্বারা এই নতুন ভিতরের পিঠকে উপরোক্তভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, ভিতরের পিঠে কোন আধান নাই। উপরের পিঠ পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, আধান উপরের পিঠে চলিয়া আসিয়াছে।

1-17. তড়িৎপর্দা বা আচ্ছাদন (Electric screen) ঃ

কোন পরিবাহীকে তড়িতাহিত করিলে তড়িতাধান পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে—তড়িতের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া তড়িৎপর্দা বা তড়িতাচ্ছাদন গঠন করা হয়। তড়িৎপর্দা দ্বারা কোন আবদ্ধ স্থানকে তড়িতের প্রভাব হইতে মুক্ত রাখা যায়।

পরীক্ষা ঃ একটি তামার তারের জাল (C) দ্বারা তৈরী খাঁচা লইয়া উহাকে একটি অন্তরক আসনের (A) উপর বসানো হইল। খাঁচার ভিতরে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র রাখা আছে। এখন যদি একটি তড়িৎগ্রস্ত দণ্ড খাঁচার কাছে আনা যায় তবে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র দুইটির কোনরূপ বিস্ফারণ হইবে না। ইহার কারণ, খাঁচা তড়িতাধান পাইলে, উহা খাঁচার বাহিরের পৃষ্ঠেই থাকিবে—খাঁচার অভ্যন্তরে তড়িতের কোন অস্তিত্ব থাকিবে না। সুতরাং খাঁচার অভ্যন্তরস্থ স্থান তড়িতের প্রভাব হইতে মুক্ত। এইভাবে একটি পর্দার সাহায্যে কোন স্থানকে তড়িতের প্রভাব হইতে মুক্ত রাখা যায় বলিয়া ইহাকে তড়িৎপর্দা বলা হয়।

চিত্র নং 16

এই প্রণালীর সাহায্যে তড়িৎ-সংক্রান্ত সুবেদী (sensitive) যন্ত্রপাতিগুলিকে বহিরাগত ও অকস্মাৎ উৎপন্ন তড়িতের প্রভাব হইতে মুক্ত রাখা হয়। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে, চুম্বকের ক্ষেত্রেও এরকম পর্দা গঠন করা যায়।

1-18. বায়ুমণ্ডলে তড়িৎ (Electricity in atmosphere) ঃ

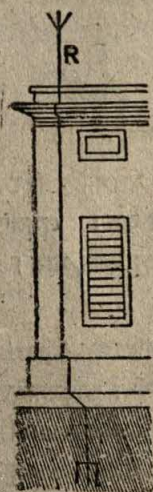
বর্ষাকালে আকাশে বিদ্যুৎ চমকানোর সহিত তড়িৎযন্ত্রের স্ফুলিঙ্গের (spark) সাদৃশ্য দেখিয়া সর্বপ্রথম বিজ্ঞানিগণ মনে করেন, বায়ুমণ্ডল সর্বদা তড়িতাহিত হইয়া থাকে। 1752 খ্রীষ্টাব্দে বিশিষ্ট পদার্থবিদ্ বেঞ্জামিন ফ্রাঙ্কলিন তাঁহার বিখ্যাত ঘুড়ির পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণ করেন, মেঘ তড়িৎগ্রস্ত অবস্থায় থাকে। বায়ুমণ্ডলে ও মেঘে তড়িতাধানের উপস্থিতির নানারকম কারণ বিজ্ঞানিগণ দেখাইয়াছেন। তাঁহারা বলেন সূর্য হইতে আগত অতি-বেগুনী (ultra-violet) রশ্মি, মহাজগৎ হইতে বিকীর্ণ মহাজাগতিক (cosmic) রশ্মি, পৃথিবীতে অবস্থিত

তেজস্ক্রিয় (radio-active) পদার্থ হইতে নির্গত রশ্মি প্রভৃতি বায়ুমণ্ডলের কণা-গুলিকে ও মেঘের জলবিন্দুগুলিকে সর্বদা তড়িতাহিত করে।

যখন দুই খণ্ড তড়িতাহিত মেঘ পরস্পরের খুব কাছাকাছি আসে তখন তাহাদের ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ (electric discharge) হয়। তড়িৎ-মোক্ষণের সময় দুই মেঘের ভিতর বিরাট অগ্নিস্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই অগ্নিস্ফুলিঙ্গকেই আমরা বিদ্যুতের ঝলক বা চমক বলি। বিদ্যুৎঝলকের জন্য মেঘের চতুষ্পার্শস্থ বায়ুমণ্ডল সহসা তাপ পাইয়া প্রসারিত হয়। প্রসারণের জন্য ঐ বায়ুমণ্ডল আবার ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে এবং চতুর্দিকের বেশী চাপের বায়ুমণ্ডল আবার উহাকে চাপিয়া সঙ্কুচিত করে। বায়ুমণ্ডলের এইরূপ দ্রুত প্রসারণ ও সঙ্কোচনের দরুন প্রচণ্ড শব্দের সৃষ্টি হয়। উহাকে **মেঘ গর্জন** বলা হয়।

বজ্রপাতকে আমরা পৃথিবী ও তড়িৎগ্রস্ত মেঘের ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ বলিয়া ধরিয়া লইতে পারি। যখনই কোন বড় একখণ্ড মেঘ বেশী পরিমাণ তড়িতাধান পাইয়া থাকে তখন উহা ভূ-পৃষ্ঠের উপর তড়িতাবেশের সৃষ্টি করে। ভূ-পৃষ্ঠ ও মেঘের ভিতর তখন বিভব-প্রভেদ খুব বৃদ্ধি পায় এবং সঙ্গে সঙ্গে তড়িৎ-মোক্ষণ হয়। ইহাকে **বজ্রপাত** বলা হয়। তড়িৎ-মোক্ষণের সঙ্গে যে ভীষণ শব্দের সৃষ্টি হয় তাহাকেই **বজ্রনাদ** বলে।

1-19. বজ্রবহ বা বজ্রনিবারক (Lightning conductor) ঃ

বজ্রপাতের দরুন অট্টালিকা বা উঁচু বাড়ি যাহাতে ক্ষতিগ্রস্ত না হয় তাহার জন্য বজ্রবহ ব্যবহার করা হয়। একটি ধাতব দণ্ড (R) বাড়ির গা বাহিয়া আটকানো থাকে এবং এই দণ্ডের উপরপ্রান্ত অট্টালিকার উচ্চতম অংশ হইতে আরও খানিকটা উঁচুতে রাখা হয় এবং নিম্নপ্রান্ত মাটিতে গভীরভাবে পুঁতিয়া রাখা হয় (17 নং চিত্র)। দণ্ডের উপরপ্রান্তে কয়েকটি সূচীমুখ (pointed ends) থাকে। বজ্রবহকে বজ্রনিবারকও (lightning arrester) বলা হয়।

বজ্রবহ
চিত্র নং 17

যখন কোন তড়িৎগ্রস্ত মেঘ গৃহের উপরে আসে তখন উহা R দণ্ডে বিপরীত আধান আবিষ্ট করে। কিন্তু দণ্ডের উপর প্রান্ত সূচীমখ বলিয়া ঐ স্থানে আধান বেশী পরিমাণে জমা হয় এবং সূক্ষ্মমুখ দিয়া আস্তে আস্তে আধান নির্গত (leak) হয়। বায়ুকণাগুলি ঐ আধান পাইয়া মেঘের বিপরীত আধান কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া মেঘের দিকে ধাবিত হয় এবং মেঘের

আধানকে প্রশমিত করে। সুতরাং মেঘ ও ভূ-পৃষ্ঠের ভিতর বিভব-প্রভেদ বৃদ্ধি পাইতে পারে না এবং বজ্রপাতেরও ভয় থাকে না।

ভাল বজ্রবহের নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকা প্রয়োজন ঃ

(1) তড়িৎ-মোক্ষণের ফলে ধাতব দণ্ডটি গলিবে না।

(2) দণ্ডের উপরপ্রান্ত সূচ্যগ্র বা কতকগুলি সূচীমুখের সমষ্টি করা প্রয়োজন।

(3) সূচীমুখ হইতে মাটি পর্যন্ত দণ্ডটি একটানা হওয়া প্রয়োজন—মাঝখানে কাটা থাকিলে চলিবে না। মাটিতে উহা গভীরভাবে পুঁতিয়া রাখা দরকার।

ইস্পাতের ফ্রেমনির্মিত বাড়ী, বজ্রবহযুক্ত গৃহ, মাটি-সংলগ্ন ধাতব ছাদযুক্ত গাড়ী অথবা চালাঘর ইত্যাদি বজ্র-বিদ্যুতের সময় নিরাপদ আশ্রয়স্থল। তারের জাল, বিচ্ছিন্ন উঁচু গাছ, দেওয়াল, টেলিগ্রাফ বা টেলিফোন পোস্ট ইত্যাদি ঐ সময় খুবই বিপজ্জনক।

একটা কথা মনে রাখিতে হইবে, বজ্রপাত ও বজ্রনাদ একই সময়ে হয়। কিন্তু শব্দের গতিবেগ আলোর গতিবেগ অপেক্ষা অনেক কম বলিয়া বাজ পড়িলে শব্দ আসিতে বেশ খানিকটা সময় লাগে। এই কারণে প্রবাদ-বাক্য প্রচলিত আছে যে, বজ্রনাদ শুনিলে বজ্রাহত হইবার ভয় থাকে না। কারণ বজ্রপাতে মৃত্যু ঘটিলে তাহা সঙ্গে সঙ্গেই হয়, বজ্রনাদ শুনিবার আর সময় থাকে না।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িতাহিতকরণের অর্থ কি? তড়িৎ কয় প্রকার? ঘর্ষণ দ্বারা উহাদের কিরূপে সৃষ্টি করা যায়? [M. Exam., 1988]

2. 'আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ তড়িতাহিতের প্রকৃষ্ট প্রমাণ'—এই বাক্যটির তাৎপর্য বুঝাইয়া দাও। [H. S. Exam., 1960]

3. তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র কাহাকে বলে? স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণের বর্ণনা ও কার্যপ্রণালীর বিবরণ দাও। পরিবহন দ্বারা তড়িৎবীক্ষণকে কিরূপে তড়িতাহিত করা যায়? [M. Exam., 1980]

4. পরিবাহী ও অপরিবাহী কাহাকে বলে? উহাদের উদাহরণ দিয়া বুঝাইয়া দাও।

5. ঘর্ষণের ফলে আধানের সৃষ্টি সহজ পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে দেখানো যাইতে পারে? অপরিবাহী কাহাকে বলে? বিদ্যুৎ অপরিবাহীর দুইটি উদাহরণ দাও। জল কি অপরিবাহী? [M. Exam., 1987]

6. একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের নক্শা আঁকিয়া উহার বিভিন্ন অংশের নাম লিখ। (বিবরণ লিখিবার প্রয়োজন নাই)

একটি তড়িৎগ্রস্ত অন্তরিত পরিবাহীর তড়িতের প্রকৃতি এই যন্ত্র দ্বারা কিরূপে পরীক্ষা করা যায়? [*H. S. Exam.*, *1980*]

7. ঘর্ষণে সমপরিমাণ বিপরীত তড়িৎ একই সঙ্গে উৎপন্ন হয় ইহা কি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করিবে? [*M. Exam.*, *1979*]

8. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখ :—

(i) যেদিন আবহাওয়া আর্দ্র থাকে সেইদিন স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞানের পরীক্ষাকার্য সন্তোষজনক হয় না কেন? (ii) পেট্রলবাহী ট্রাকে একটি শিকল মাটি পর্যন্ত ঝুলাইয়া রাখা হয় কেন? (iii) ইলেকট্রিক তার পোসিলিনের বাটির মাধ্যমে পোস্টে খাটান হয় কেন?

9. ইলেকট্রন কাহাকে বলে? তড়িতের ইলেকট্রনীয় মতবাদ সংক্ষেপে বুঝাইয়া বল। [*Cf. H. S.* (*Comp*), *1960*]

10. পরিবাহী এবং অন্তরকের ভিতর পার্থক্য কি? ইহা ইলেকট্রনতত্ত্ব দ্বারা কিভাবে ব্যাখ্যা করা যায়? [*M. Exam.*, *1985*]

11. তড়িতাবেশ কাহাকে বলে? আবিষ্ট পরিবাহীর নিকটতম প্রান্তে আবেশী আধানের বিপরীত আধান থাকে এবং দূরতম প্রান্তে সম-আধান থাকে, ইহা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর। [*M. Exam.*, *1979*]

12. কীভাবে দেখাইবে যে (a) ঘর্ষণে দুই প্রকার বিদ্যুৎ সৃষ্ট হয় (b) বৈদ্যুতিক আবেশের ফলে দুই সমান ও বিপরীত ধর্মী আধানের সৃষ্টি হয়। [*M. Exam.*, *1984*]

13. তড়িতাবেশ বলিতে কি বুঝায়? স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র বর্ণনা কর। আবেশের সাহায্যে এই যন্ত্রকে কিরূপে তড়িতগ্রস্ত করা যায়? এই যন্ত্রকে কি তড়িৎ পরিমাপে ব্যবহার করা যায়? [*M. Exam.*, *1986*]

14. স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রকে আবেশ দ্বারা ঋণাত্মক আধানে কিভাবে আহিত করিবে? [*M. Exam.*, *1981*]

15. মুক্ত ও বদ্ধ আধান কাহাকে বলে এবং কেন বলে? আবেশের ফলে একই সঙ্গে সম-পরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎ সৃষ্টি হয়, ইহা পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [*H. S. Exam.*, *1961*]

16. কেমন করিয়া দেখাইবে যে আধান তড়িৎবাহী পদার্থের কেবলমাত্র বাহির তলে অবস্থান করে? [*M. Exam.*, *1980*]

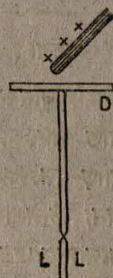
17. বায়ুমণ্ডল তড়িৎগ্রস্ত হইবার কারণ কি? বিদ্যুৎ চমক বলিতে কি বোঝ? বিদ্যুৎ চমকের সঙ্গে শব্দ হয় কেন?

18. বজ্রপাত কখন হয়? বজ্রপাত হইতে বাড়ীঘর রক্ষা পাইবার উপায় কি? [*M. Exam.*, *1983*]

19. 'বিদ্যুৎচমক' কাহাকে বলে? বজ্রবহর কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। বজ্র-বিদ্যুতের সময় খোলা জায়গায় থাকা নিরাপদ নয় কেন? [*H. S. Exam.*, *1961*]

20. এবোনাইট দণ্ডকে পশম দ্বারা জোরে ঘষা হইল। (i) এবোনাইট দণ্ডে কোন্ তড়িৎ থাকিবে? (ii) পশমে কি তড়িৎ থাকিবে? (iii) ইলেকট্রনতত্ত্ব দ্বারা এবোনাইটের তড়িতাহিতকরণ ব্যাখ্যা কর।

21. সিল্কের সুতা দ্বারা ঝুলানো একটি হালকা ধাতব গোলকের কাছে একটি তড়িতাহিত দণ্ড ধরিলে কি ঘটিবে? উত্তর ব্যাখ্যা কর।

22. একটি ধনাত্মক তড়িতে আহিত দণ্ডকে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের চাকতি D-এর কাছে ধরা হইল [চিত্র নং 18]। (i) যন্ত্রের পাতগুলি (L, L) কিরূপ ব্যবহার করিবে? (ii) D-চাকতিকে ক্ষণকালের জন্য হাত দিয়া স্পর্শ করিলে পাতগুলির কি অবস্থা হইবে? (iii) A দণ্ডকে সরাইয়া লওয়া হইল। পাতগুলি কি ফাঁক হইয়া পড়িবে?

চিত্র নং 18

● Objective type :

23. নিচে বন্ধনীর ভিতর দেওয়া শব্দ হইতে উপযুক্ত শব্দ নির্বাচন করিয়া শূন্যস্থান পূরণ কর ঃ

(a) যখন কাচদণ্ডকে রেশম দ্বারা জোরে ঘষা হয় তখন দণ্ড — তড়িৎদ্বারা এবং রেশম — তড়িৎদ্বারা আহিত হয়।

(b) বিশুদ্ধ জল তড়িতের —।

(c) জলীয় বাষ্প তড়িতের —।

(d) পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা পরমাণুতে উপস্থিত — বা — সংখ্যা বুঝায়।

(e) বজ্রবিদ্যুৎপূর্ণ আবহাওয়া — যুক্ত গৃহ নিরাপদ।

[প্রোটন, পরিবাহী, বজ্রনিবারক, ধনাত্মক, অপরিবাহী, ঋণাত্মক, ইলেকট্রন]

24. নিম্নলিখিত উক্তিগুলি শুদ্ধ কি অশুদ্ধ লেখ ঃ

(a) একটি অন্তরিত ধাতব বলে 30 লক্ষ ইলেকট্রন বাড়তি আছে এবং সম্পূর্ণ একই রকম বলে 40 লক্ষ ইলেকট্রন ঘাটতি আছে। উহারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

(b) অন্তরক পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলি দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে আর পরিবাহীর ইলেকট্রনগুলি স্বচ্ছন্দে এক পরমাণু হইতে অন্য পরমাণুতে চলাচল করিতে পারে।

(c) একটি তড়িতাহিত বস্তুকে একটি ফাঁপা অনাহিত পরিবাহীর অভ্যন্তর তলের সহিত সংযুক্ত করিলে তড়িৎ ফাঁপা পরিবাহীর বাহিরের তলে চলিয়া যায়।

(d) প্রভূত তড়িতে আহিত মেঘ এবং ভূ-পৃষ্ঠের মধ্যে তড়িৎমোক্ষণই বজ্রপাত।

(e) যখন ঋণাত্মক তড়িতাহিত বস্তুকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করা হয় তখন বস্তু হইতে পৃথিবীতে ইলেকট্রন প্রবাহের জন্য বস্তু নিস্তড়িত হইয়া যায়।

তড়িৎপ্রবাহ ও তড়িৎ-কোষ
(Electric Current and Electric Cells)

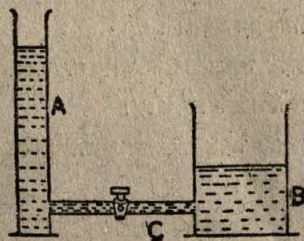
সূচনা ঃ

আধুনিক যুগকে 'তড়িতের যুগ' বলা যায়; কারণ, এই যুগের জীবনযাত্রার প্রতি পদক্ষেপেই আমরা তড়িতের সাহায্য গ্রহণ করিয়া থাকি। আমাদের বাড়ি-ঘর, কলকারখানা আলোকিত করে তড়িৎপ্রবাহ; সংবাদ আদান-প্রদানের জন্য টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, রেডিও প্রভৃতি চালু রাখে তড়িৎপ্রবাহ; আমোদ-প্রমোদের জন্য থিয়েটার, সিনেমা, টেলিভিশন ইত্যাদি তড়িৎপ্রবাহের নিকট ঋণী, চলাচলের জন্য বৈদ্যুতিক ট্রেন, ট্রাম ইত্যাদি তড়িৎপ্রবাহের উপর নির্ভরশীল; বিভিন্ন ফ্যাক্টরী ও কলকারখানায় নানাপ্রকার যন্ত্রপাতি চালু রাখে তড়িৎপ্রবাহ। এরকম অসংখ্য প্রয়োজনীয় কাজ সম্পাদন করিয়া এবং মানুষের জীবনের আরাম ও সুখসুবিধার নানারকম উপকরণ চালু রাখিয়া তড়িৎপ্রবাহ আজ মানুষের দৈনন্দিন জীবনের সঙ্গে ওতপ্রোতভাবে মিশিয়া গিয়াছে। তাই প্রবাহী তড়িৎ-বিজ্ঞান সম্বন্ধে কৌতূহল আজ সর্বসাধারণের।

2-1. **তড়িৎ-বিভব** (Electric potential) ও **তড়িৎ-প্রবাহ** (Electric current) ঃ

তড়িৎ-বিজ্ঞানে **'বিভব'** কথাটি খুব প্রয়োজনীয়। প্রবাহী তড়িৎ-বিজ্ঞান সম্বন্ধে জ্ঞান লাভ করিতে হইলে 'বিভব' ও 'বিভব-প্রভেদ' সম্পর্কে ধারণা খুব স্পষ্ট হওয়া প্রয়োজন।

তোমরা জান, জল গড়াইয়া সর্বদা উঁচু হইতে নীচুতে যায়। পাহাড়ের গা হইতে বৃষ্টির জল গড়াইয়া সমতলভূমিতে নামিয়া নদীতে মিশিয়া যায়। কখনও এমন দেখা যায় না, নীচুতল হইতে জল আপনা আপনি উঁচুতলে যাইতেছে। এই প্রসঙ্গে একটি পরীক্ষা আলোচনা করা যাক।

পরীক্ষা ঃ দুইটি পাত্র A ও B একটি পাইপ C দ্বারা সংযুক্ত করা হইল। পাইপে একটি কল লাগানো আছে। কল বন্ধ করিয়া পাত্র দুইটিতে এমনভাবে জল ঢালা হইল যে, A পাত্রে জলের উচ্চতা B পাত্র হইতে বেশী [19 নং চিত্র]। এইবার কল খুলিয়া দিলে দেখা যাইবে, A পাত্র হইতে জল C পাইপ বাহিয়া

কল খুলিয়া দিলে জল A পাত্র হইতে B পাত্রে যাইবে

চিত্র নং 19

B পাত্রে যাইতেছে। যতক্ষণ পর্যন্ত না A এবং B পাত্রে জলের তল এক হইবে ততক্ষণ এই প্রবাহ চলিবে। জলের তল এক হওয়ামাত্র জলপ্রবাহ বন্ধ হইবে।

সুতরাং জলের তল (level) দেখিয়া আমরা বুঝিতে পারি, কোন্ দিকে জলের প্রবাহ হইবে।

তড়িতের বেলাতেও এইরূপ ঘটে। **যখনই কোন বস্তুকে তড়িতাহিত (electrified) করা হয় তখন তাহার এমন একটি তড়িতাবস্থার সৃষ্টি হয় যাহা দ্বারা বোঝা যায়, উক্ত বস্তুটি অন্য বস্তুকে তড়িৎ দিবে কিংবা অন্য বস্তু হইতে তড়িৎ গ্রহণ করিবে।** বস্তুর এই তড়িতাবস্থাকে উহার 'তড়িৎ-বিভব' বলে। সুতরাং তড়িৎ-বিভবকে জলের লেভেলের সহিত তুলনা করা যাইতে পারে।

দুইটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর ভিতর সংযোগ স্থাপন করিলে সর্বদা উচ্চবিভব-বিশিষ্ট বস্তু হইতে নিম্নবিভব-বিশিষ্ট বস্তুতে তড়িতের প্রবাহ হয় এবং যতক্ষণ পর্যন্ত দুই বস্তুর বিভব সমান না হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত এই তড়িৎপ্রবাহ চলিবে।

আবার, একটি তড়িৎবিহীন বস্তুর সহিত একটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর সংযোগ ঘটাইলে দেখা যাইবে, তড়িৎবিহীন বস্তু তড়িৎগ্রস্ত বস্তু হইতে তড়িৎ লইতেছে, যেমন—একটি জলশূন্য পাত্র ও একটি জলপূর্ণ পাত্রের (একই তলে রাখিয়া) সংযোগ ঘটাইলে সর্বদা জলপূর্ণ পাত্র হইতে জল খালি পাত্রে প্রবাহিত হয়।

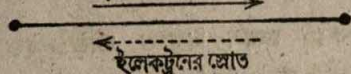
সুতরাং একথা মনে রাখিতে হইবে, দুই স্থানের তলের পার্থক্য থাকিলে যেমন একটি চাপের (pressure) উদ্ভব হয় যাহার ফলে তরল উঁচু হইতে নীচুতে প্রবাহিত হয়, তেমন দুইটি বস্তুর ভিতর 'বিভব-প্রভেদ' (potential difference) থাকিলে একটি তড়িৎ-চাপের (electric pressure) সৃষ্টি হয় যাহার ফলে তড়িৎ উচ্চবিভবযুক্ত বস্তু হইতে নিম্নবিভবযুক্ত বস্তুতে প্রবাহিত হয়।

তড়িতাধানের এই প্রবাহকে তড়িৎ প্রবাহ বলে। এই প্রবাহ যদি সর্বদা একই দিকে হয় তবে তাহাকে **সমপ্রবাহ** (Direct current বা D. C.) বলে। আর যদি প্রবাহের অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে এদিক-ওদিক পরিবর্তিত হয় তবে তাহাকে পরিবর্তী প্রবাহ (Alternating current বা A. C.) বলে।

সাধারণভাবে দুইটি ভিন্ন বিভবযুক্ত তড়িৎগ্রস্ত বস্তুকে তার দিয়া সংযোগ করিলে যে-তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাহা খুবই ক্ষণস্থায়ী, কারণ, মুহূর্তের মধ্যে বস্তু দুইটির বিভব সমান হইয়া যায় এবং প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। এই প্রবাহকে স্থায়ী করিতে গেলে বিভব-প্রভেদকেও স্থায়ী করা প্রয়োজন। এ-সম্বন্ধে পরে আলোচনা করা হইয়াছে।

2-2. তড়িৎ প্রবাহের দিক্‌নির্দেশের প্রচলিত নিয়ম (Conventional direction of electric current) :

কোন পরিবাহী দিয়া তড়িতাধানের প্রবাহ হইলে তাহাকে তড়িৎপ্রবাহ বলা

হইয়াছে। কিন্তু আধান দুই প্রকার—ধনাত্মক ও ঋণাত্মক। সুতরাং প্রশ্ন হইবে, কোন্ প্রকার আধানের প্রবাহ হইলে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হইবে?

তড়িৎপ্রবাহের দিক্‌নির্দেশের নিয়ম

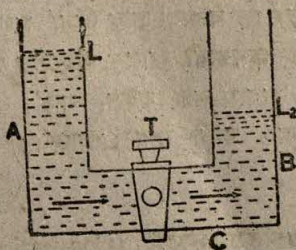
চিত্র নং 20

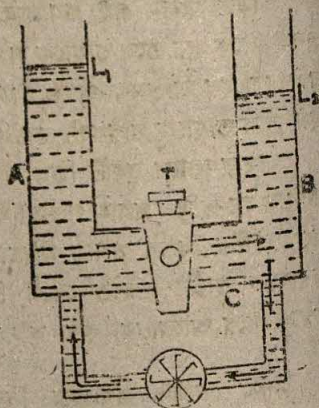
এ সম্বন্ধে প্রচলিত নিয়ম হইতেছে, পরিবাহী দিয়া ধনাত্মক আধানের প্রবাহ হইলে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। ধরা যাউক, A এবং B দুইটি বিন্দু। A বিন্দুর বিভব B বিন্দু হইতে উচ্চতর। এখন বিন্দু দুইটিকে কোন পরিবাহী তার দ্বারা সংযোগ করিলে তার দিয়া A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে ধনাত্মক আধান প্রবাহিত হইবে (20 নং চিত্র)। ইহাই তড়িৎ-প্রবাহের দিক্‌নির্দেশের প্রচলিত নিয়ম। এই পুস্তকে সর্বদাই এই নিয়ম অনুসরণ করা হইয়াছে।

আধুনিক ইলেক্‌ট্রনীয় মতবাদ অনুযায়ী তড়িৎপ্রবাহের দিক্‌নির্দেশের নিয়ম অন্যরকম। ইলেক্‌ট্রনীয় মতবাদ অনুসারে প্রত্যেক পরিবাহীতে কিছু মুক্ত (free) ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত ইলেক্‌ট্রন বর্তমান। যখন পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব অসম হয় তখন নিম্নবিভব প্রান্ত হইতে উচ্চবিভব প্রান্তে ইলেক্‌ট্রনগুলির প্রবাহ ঘটে। এই প্রবাহের জন্যই তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। সুতরাং এই দিক্‌-নির্দেশ পূর্ববর্ণিত প্রচলিত দিক্‌নির্দেশের বিপরীত।

2-3. স্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি কিরূপে হয়?

আমরা দেখিয়াছি, কোন পরিবাহীতে স্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করিতে হইলে পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য স্থায়িভাবে বজায় রাখিতে হইবে। এই সম্পর্কে পুনরায় এক পাত্র হইতে অন্য পাত্রে জলপ্রবাহের তুলনা করা যাইতে পারে।

ধরা যাউক, A এবং B দুইটি পাত্র C পাইপ দ্বারা সংযুক্ত। L এবং L_2 দুই পাত্রের জলের তল, T একটি প্যাঁচকল যাহা দ্বারা জলপ্রবাহ বন্ধ বা খোলা

কল খুলিয়া দিলে জল A-পাত্র হইতে B-পাত্রে যাইবে। কিন্তু এই প্রবাহ ক্ষণস্থায়ী

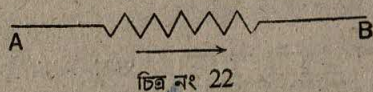
চিত্র নং 21 (a)

পাম্প দ্বারা জল B-পাত্র হইতে A-পাত্রে পাঠানো হইতেছে

চিত্র নং 21 (b)

যাইতে পারে [21 (a) নং চিত্র]। T প্যাঁচকল খুলিয়া দিলে A পাত্র হইতে B পাত্রে জলপ্রবাহ হইবে। কিন্তু এই প্রবাহ ক্ষণস্থায়ী হইবে কারণ, খুব শীঘই দুই পাত্রের জলের তল সমান হইয়া প্রবাহ বন্ধ করিয়া দিবে। এখন যদি একটি পাম্প দিয়া B পাত্র হইতে জল A পাত্রে আনিবার ব্যবস্থা করা যায় [21 (b) নং চিত্র] এবং যে হারে জল A পাত্র হইতে পাইপ দিয়া B-তে প্রবেশ করে ঠিক সেই হারে পাম্প আবার A পাত্রে জল প্রবেশ করায়, তবে L_1 এবং L_2 লেভেল পার্থক্য ঠিক থাকিবে। তখন, C পাইপ দিয়া সর্বদা জলপ্রবাহ চলিতে থাকিবে।

এইবার পরিবাহী দিয়া তড়িৎস্রোতের কথায় আসা যাউক। AB পরিবাহী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাইতে গেলে A এবং B প্রান্তের বিভবের পার্থক্য প্রয়োজন (22 নং চিত্র)। এই পার্থক্য স্থায়ী হইলে তড়িৎপ্রবাহও স্থায়িভাবে AB পরি-বাহীতে চালু হইবে। কিন্তু প্রশ্ন হইল, কিরূপে এই বিভব-পার্থক্য স্থায়ী করা যায়? জলপ্রবাহের সাদৃশ্য হইতে বলা যায়, পাম্পের মত কোন ব্যবস্থা করিয়া A ও B প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য বজায় রাখা যায় কি-না? অর্থাৎ তড়িতের ক্ষেত্রে এইরূপ শক্তি সৃষ্টিকারী পাম্প আছে কি-না? বিজ্ঞানিগণ দেখিয়াছেন, রাসায়নিক শক্তিকে কাজে লাগাইয়া এই ধরনের "তড়িৎ-পাম্প" সৃষ্টি করা যায়। ইহার নাম **তড়িৎ-কোষ** (electric cell)।

A B

চিত্র নং 22

2-4. তড়িৎকোষ আবিষ্কারের গোড়ার কথা:

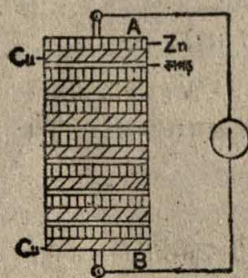
তড়িৎকোষ প্রথম উদ্ভাবন করেন ইতালীয় বিজ্ঞানী ভোল্টা। কিন্তু ইহার জন্য দায়ী গ্যাল্‌ভানির বিখ্যাত ব্যাঙের পরীক্ষা ও ভোল্টা কর্তৃক ইহার যথাযথ ব্যাখ্যা এবং এই ব্যাখ্যানুসারে ভোল্টার স্তূপ (Volta's pile) নির্মাণ।

এ ভোল্টা (1745—1827)

1786 খ্রীষ্টাব্দে ইতালীর অন্তর্গত বোলোগ্‌না বিশ্ববিদ্যালয়ের বিখ্যাত শারীরবিদ্ গ্যাল্‌ভানি কাটা ব্যাঙ লইয়া নানারকম পরীক্ষা করিতেছিলেন। একদিন কতকগুলি সদ্যকাটা ব্যাঙের পা পিতলের হুক হইতে ঝুলিতেছিল। গ্যাল্‌ভানি লক্ষ্য করিলেন, যতবার হাওয়ায় আন্দোলিত হইয়া ব্যাঙের পা লোহার রেলিং স্পর্শ করিতেছিল, ততবারই মাংসপেশী হঠাৎ সঙ্কুচিত হইয়া পা ছিট্‌কাইয়া আসিতেছিল। ইহার পূর্বে মৃত

ব্যাঙের শরীরে তড়িৎযন্ত্র হইতে তড়িৎ পাঠাইয়া ঐরূপ স্পন্দন গ্যালভানি লক্ষ্য করিয়াছিলেন। ইহা হইতে তাঁহার ধারণা জন্মে, ব্যাঙের শরীরে স্বতঃই তড়িৎ বর্তমান।

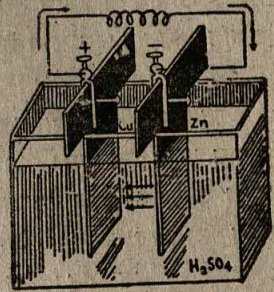
কিন্তু গ্যাল্‌ভানির এই ধারণা সম্বন্ধে সন্দেহ প্রকাশ করেন ভোল্টা। তিনি বলেন, ব্যাঙের শরীরে তড়িৎ নাই। তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হইয়াছে পিতল ও লোহা এই দুইটির বিভিন্ন ধাতুর সংস্পর্শের জন্য। ব্যাঙের দেহ তড়িৎ পরিবাহী। সুতরাং যখনই বিভিন্ন ধাতু ব্যাঙের শরীরের মাধ্যমে সংযুক্ত হইতেছে তখনই তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হইতেছে।

তিনি অতঃপর 1800 খ্রীষ্টাব্দে তাঁহার বিখ্যাত স্তূপ (pile) তৈয়ারী করিয়া তাঁহার মতবাদকে প্রতিষ্ঠিত করিতে চেষ্টা করিলেন। এই স্তূপ কতকগুলি দস্তা ও তামার পাত পর-পর রাখিয়া তৈয়ারী করা। প্রত্যেক দুই পাতের পর লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে সিক্ত এক টুকরা ন্যাক্‌ড়া রাখা আছে। সর্বপ্রথম দস্তার পাত ও সর্বশেষ তামার পাতকে কোন পরিবাহী তার দিয়া যোগ করিলে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় (23 নং চিত্র)।

ভোল্টার স্তূপ
চিত্র নং 23

ভোল্টার মতবাদ অনুযায়ী দুইটি বিভিন্ন ধাতুকে স্পর্শ করাইলেই বিভব-প্রভেদের সৃষ্টি হয় এবং তাহার ফলে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। কিন্তু ভোল্টার এই মতবাদে কিছু ত্রুটি আছে। ভোল্টার স্তূপ পরীক্ষা করিয়া দেখা যায়, দস্তা ও সালফিউরিক অ্যাসিডের সংস্পর্শে কিছু রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়। ইহা হইতে ডেভী, ডিলা রিভ, ফেবরনী প্রভৃতি বিজ্ঞানীরা স্থির করেন, তড়িৎ-প্রবাহের মূল কারণ দুইটি বিভিন্ন ধাতুর সংযোগ নয়—মূল কারণ হইতেছে রাসায়নিক ক্রিয়া; এইভাবে নানা ঘটনার ভিতর দিয়া বিজ্ঞানীরা তড়িৎ-কোষের মূলকথা উপলব্ধি করিতে পারিলেন।

2-5. সরল ভোল্টীয় কোষ (Simple voltaic cell) :

ভোল্টার স্তূপ হইতে প্রমাণিত হয় তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টির জন্য রাসায়নিক শক্তির প্রয়োজন। যে ব্যবস্থার দ্বারা রাসায়নিক শক্তির বদলে স্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করা যায় তাহাকে তড়িৎ-কোষ বলে। ভোল্টা সর্বপ্রথম এই ধরনের কোষ নির্মাণ করেন বলিয়া ইহাকে ভোল্টীয় কোষ বলে।

বিবরণ : 24 নং চিত্রে এই তড়িৎ-কোষের ছবি দেখানো হইল। একটি কাচের পাত্রে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড (dilute sulphuric acid) রাখিয়া উহার ভিতরে একটি দস্তার পাত (Zn) ও একটি তামার পাত (Cu) ডুবানো হয়। পাত দুইটির সহিত দুইটি বন্ধনী (terminal) লাগানো থাকে। একটি তামার তার বন্ধনী দুইটির সহিত লাগাইলে পাত দুইটির ভিতর সংযোগ স্থাপিত হইবে। সঙ্গে সঙ্গে রাসায়নিক ক্রিয়া শুরু হইবে এবং তামার পাত বাহিয়া হাইড্রোজেন (hydrogen) গ্যাসের বুদ্‌বুদ্‌ উঠিবে। ইহা ছাড়া তামার পাত হইতে দস্তার পাতের দিকে তার বাহিয়া তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হইবে।

ভোল্টীয় কোষ
চিত্র নং 24

যদি বন্ধনী হইতে তার খুলিয়া ফেলা যায় তবে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হইবে না বা কোন তড়িৎপ্রবাহও দেখা যাইবে না। কিন্তু তামা ও দস্তার পাতের ভিতর বিভব-পার্থক্য থাকিয়া যাইবে। তামার পাতকে উচ্চ অথবা ধনাত্মক বিভব ও দস্তার পাতকে নিম্ন অথবা ঋণাত্মক বিভবসম্পন্ন পাত বলা হয়। ইহাদের যথাক্রমে ধনাত্মক মেরু (positive pole) ও ঋণাত্মক মেরু (negative pole)-ও বলা হয়।

যখন বন্ধনীদ্বয় তামার তার দিয়া যোগ করা হয় তখন তার বাহিয়া তামার পাত হইতে দস্তার পাতে তড়িৎপ্রবাহের ফলে পাত দুইটির বিভব-প্রভেদ ক্রমশ লোপ পাইতে চেষ্টা করে। কিন্তু ঐ প্রভেদ বজায় রাখিবার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির সৃষ্টি হয় দস্তা ও সালফিউরিক অ্যাসিডের ভিতর রাসায়নিক বিক্রিয়ার দ্বারা।

রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে তামার পাত ধনাত্মক তড়িৎ তথা ধনাত্মক বিভব ও দস্তার পাত ঋণাত্মক বিভবপ্রাপ্ত হয়। যখন পাত দুইটি তার দিয়া যোগ করা হয় না তখনকার বিভব-প্রভেদকে কোষের **তড়িচ্চালক বল** (Electromotive force বা E.M.F.) বলা হয়। এই বলই তড়িৎপ্রবাহের জন্য মূলত দায়ী। যখন পাত দুইটি তার দিয়া যোগ করা হয় তখন তড়িৎ-প্রবাহের দরুন, পাত দুইটির বিভব-প্রভেদ লোপ পাইতে চেষ্টা করে কিন্তু কোষের ভিতর আরও রাসায়নিক বিক্রিয়া হইয়া এই বিভব-প্রভেদকে বজায় রাখে। তাই তার দিয়া স্থায়ী তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়।

লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে, কোষের বাহিরে তার দিয়া যেমন তড়িৎ-

প্রবাহ হয় কোষের ভিতরে তরলের মধ্য দিয়াও তড়িৎ-প্রবাহ হয়। কোষের বাহিরের প্রবাহ তামা হইতে দস্তার অভিমুখে হয় কিন্তু ভিতরের প্রবাহ দস্তা হইতে তামার অভিমুখে হয় (24 নং চিত্র)। তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বলকে প্রকাশ করিবার জন্য 'ভোল্ট' একক ব্যবহার করা হয়। সরল ভোল্টীয় কোষের E. M. F. 1·08 ভোল্ট।

যে-কোন পরিবাহী বস্তুর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ হইলে প্রবাহ একটি বাধার সম্মুখীন হয়। এই বাধাকে পরিবাহীর 'রোধ' (resistance) বলে। যখন তড়িৎ-কোষের তরলের ভিতর দিয়া প্রবাহ ঘটে, তখনও প্রবাহ ঐরূপ রোধ অনুভব করে। ইহাকে তড়িৎ-কোষের 'অভ্যন্তরীণ রোধ' (internal resistance) বলা হয়। তড়িৎ-কোষের বাহিরে প্রবাহ যে-বাধা পায় তাহাকে 'বহির্রোধ' (external resistance) বলা হয়। 'রোধ' সম্বন্ধে পরে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

2-6. সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটি (Defects of simple voltaic cell) :

উপরে বর্ণিত সরল তড়িৎ-কোষের প্রধানত দুইটি ত্রুটি আছে। ইহারা যথাক্রমে (1) **স্থানীয় ক্রিয়া** (local action) ও (2) **ছদন** (polarisation)। এই ত্রুটির জন্য তড়িৎ-প্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয় এবং অবশেষে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়া যায়। নিম্নে ইহাদের বিবরণ ও প্রতিকারের উপায় বর্ণিত হইল ঃ

(1) **স্থানীয় ক্রিয়া ঃ** সাধারণত বাজারে যে দস্তার পাত পাওয়া যায় তাহা বিশুদ্ধ নয়। তাহাতে নানারকম ধাতব পদার্থ (যথা—লোহা, সীসা, আর্সেনিক ইত্যাদি) খাদ হিসাবে উপস্থিত থাকে। ঐরূপ কোন দস্তার পাত সালফিউরিক অ্যাসিডে ডুবাইলে দস্তা, অ্যাসিড ও খাদ মিলিয়া ছোট ছোট স্থানীয় কোষ তৈয়ারী করে। কারণ দুইটি ভিন্ন ধাতু অ্যাসিডের সংস্পর্শে আসিলে তড়িৎ-কোষের সৃষ্টি হয়। এই স্থানীয় তড়িৎ-কোষগুলি যে তড়িৎ-প্রবাহের উৎপত্তি করে তাহা মূল প্রবাহের সহিত যুক্ত হয় না। কোষের পাত দুইটি তার দিয়া যুক্ত থাকুক বা না থাকুক এই প্রবাহ সর্বদা চালু থাকে। ইহাতে অনাবশ্যক দস্তার পাত ক্ষয় হইয়া যায় এবং অচিরে কোষটি অকেজো হইয়া পড়ে।

প্রতিকারের উপায় ঃ স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ করিবার জন্য বাজারে প্রাপ্ত সাধারণ দস্তার পাত ব্যবহার না করিয়া বিশুদ্ধ দস্তার পাত ব্যবহার করা যাইতে পারে। কিন্তু ইহাতে খরচ বেশী হইবে এবং কোষের দামও বাড়িয়া যাইবে। তাছাড়া, বিশুদ্ধ দস্তার সহিত সালফিউরিক অ্যাসিডের বিশেষ কোন ক্রিয়া হয় না।

সাধারণ দস্তার পাতে পারদের প্রলেপ লাগাইলে স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ হয়।

ইহার কারণ, পারদে দস্তা দ্রবীভূত হইয়া উপরেই থাকে এবং অ্যাসিডের সহিত সাক্ষাৎ সংস্পর্শে আসিতে পারে ও মূল কোষের কার্য অব্যাহত রাখে। কিন্তু খাদগুলি পারদে দ্রবীভূত হয় না বলিয়া প্রলেপের দ্বারা আবৃত থাকে এবং অ্যাসিডের সহিত সংস্পর্শে আসিতে পারে না। সুতরাং স্থানীয় ক্রিয়া হইবার সুযোগ থাকে না। রাসায়নিক ক্রিয়ার দরুন দস্তা ক্রমশ ক্ষয়প্রাপ্ত হইলে খাদগুলি আলগা হইয়া যায় এবং কাচপাত্রের তলায় জমা হয়।

(2) **ছদন** (Polarisation): সরল ভোল্টীয় কোষের দুইটি বন্ধনী তামার তার দিয়া যোগ করিয়া কিছুক্ষণ রাখিয়া দিলে দেখা যাইবে, আস্তে আস্তে তড়িৎপ্রবাহ কমিয়া আসিতেছে এবং অবশেষে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়াছে।

পরীক্ষা: একটি সরল ভোল্টীয় কোষের দুই পাতের সঙ্গে একটি বৈদ্যুতিক ঘন্টা যোগ কর। দেখিবে ঘন্টা কিছুক্ষণ বাজিবার পর শব্দ ক্ষীণ হইতে শুরু করিয়াছে এবং পরে একেবারে থামিয়া গিয়াছে। এইবার কোষের তামার পাতটি বাহির করিয়া পরীক্ষা কর। দেখিবে পাতে অজস্র বুদ্‌বুদ্‌ লাগিয়া আছে। ব্রাশ দিয়া বুদ্‌বুদ্‌গুলি পরিষ্কার করিলে পুনরায় ঘন্টা বাজিবে। কোষের তড়িৎ প্রবাহের এইরূপ হ্রাস পাইবার কারণ হইতেছে ছদন। তড়িৎ-কোষের ছদন নিম্নোক্তরূপে হইয়া থাকে:

তড়িৎ-কোষের ক্রিয়া হইবার সময় ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত হাইড্রোজেন আয়ন তামার পাতের দিকে অগ্রসর হয় এবং পাতে নিজস্ব তড়িৎ হস্তান্তরিত করিয়া গ্যাসের আকারে বাহির হইয়া যায়। কিন্তু যে হারে হাইড্রোজেন আয়নের আগমন হয় তাহা গ্যাসের নির্গমনের হারের চাইতে বেশী হওয়ায় সব হাইড্রোজেন বাহিরে যাইতে পারে না। কিছু কিছু হাইড্রোজেন আয়ন তড়িৎ হস্তান্তরিত করিয়া নিস্তড়িৎ অণুরূপে তামার পাতে আটকাইয়া থাকে। সুতরাং কিছুক্ষণ কাজ হইবার পর তামার পাতের উপর একটি নিস্তড়িত গ্যাসের স্তর জমিয়া যায়। তখন নবাগত হাইড্রোজেন আয়ন আর তামার পাতে তড়িৎ হস্তান্তরিত করিতে পারে না। তখন কোষপ্রদত্ত তড়িৎপ্রবাহও ক্ষীণ হইতে শুরু করে। কিছুক্ষণ পরে ঐ নিস্তড়িৎ গ্যাস-স্তরের উপর হাইড্রোজেন আয়ন জমা হইতে থাকে। তখন নতুন হাইড্রোজেন আয়ন তামার পাতের কাছে আসিলেই সমতড়িৎ কর্তৃক বিকর্ষিত হইয়া দস্তার পাতের দিকে ধাবিত হয়। তখন, দ্রবণের ভিতর উল্টাদিকে একটি তড়িচ্চালক বল কাজ করিতে শুরু করে। ইহাকে **বিপরীত তড়িচ্চালক বল** (back electromotive force) বলা হয়। ঐ অবস্থায় তড়িৎ-কোষ সম্পূর্ণরূপে ছদনগ্রস্ত হইয়াছে বুঝিতে হইবে। ঐ কোষ হইতে তখন আর তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় না।

প্রতিকারের উপায় ঃ ছদন নিবারণের কয়েকটি পদ্ধতি আছে, যথা—

(ক) **যান্ত্রিক পদ্ধতি** (Mechanical means) ঃ মাঝে মাঝে কোষ হইতে তামার পাতকে বাহির করিয়া ব্রাশ দিয়া হাইড্রোজেন গ্যাসের বুদ্‌বুদ্‌গুলিকে পরিষ্কার করিয়া আবার কোষে স্থাপন করিলে পুনরায় তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। ইহাকে যান্ত্রিক পদ্ধতি বলা হয়। অমসৃণ তামার পাত ব্যবহার করিলেও বুদ্‌বুদ্ জমিবার সুবিধা হয় না। কিন্তু এই উপায় খুব সুবিধাজনক নহে।

(খ) **রাসায়নিক পদ্ধতি** (Chemical means) ঃ এই পদ্ধতিতে কোষের ভিতর এমন একটি রাসায়নিক বস্তু ব্যবহার করা হয় যাহা হাইড্রোজেনকে জলে পরিণত করিয়া দেয়। সুতরাং তামার পাতে হাইড্রোজেন গ্যাস জমিতে পারে না এবং ছদনও হইতে পারে না। এই ধরনের রাসায়নিক পদার্থকে **ছদন নিবারক** (depolariser) বলা হয়। লেক্‌ল্যান্স কোষে MnO_2-কে ছদন-নিবারক হিসাবে ব্যবহার করা হয় (লেক্‌ল্যান্স কোষ দ্রষ্টব্য)।

(গ) **তড়িৎ-রাসায়নিক পদ্ধতি** (Electro-chemical means) ঃ এই পদ্ধতিতে এমন দুইটি তরল ব্যবহার করা হয় যে, প্রথম তরল কর্তৃক উৎপন্ন হাইড্রোজেন-অণু দ্বিতীয় তরলের সংস্পর্শে আসিলে কোষের ধনাত্মক পাত যে ধাতুর তৈরী সেই ধাতুর অণু সৃষ্টি করে অথবা হাইড্রোজেন ছাড়া অন্য কোন গ্যাস উৎপন্ন করে। হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন না হওয়ায় ছদন-ক্রিয়া হইতে পারে না। ড্যানিয়েল কোষে কপার সালফেট ($CuSO_4$) জলে দ্রবীভূত করিয়া ঐ দ্রবণকে ছদন-নিবারক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

2-7. বিভিন্ন ধরনের কোষ (Different types of cells) ঃ

(ক) **লেকল্যান্স কোষ** (Leclanche's cell) ঃ **বিবরণ ঃ** 25 নং চিত্রে লেকল্যান্স কোষের ছবি দেখানো হইল। একটি কাচপাত্রে জলে দ্রবীভূত নিশাদল বা অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড (NH_4Cl) রাখা হয় এবং তাহার ভিতর পারদের প্রলেপযুক্ত একটি দস্তার দণ্ড (Z) আংশিক ডুবানো থাকে। কাচপাত্রের মাঝখানে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের (solution) ভিতর আর একটি সচ্ছিদ্র পাত্র রাখা আছে। ঐ পাত্র ম্যাংগানিজ ডাই-অক্সাইড (MnO_2) ও কাঠকয়লার গুঁড়া দিয়া ভরতি। ইহার ভিতর একটি গ্যাস কার্বন-দণ্ড (C) ঢুকানো। এই কোষে দস্তার দণ্ড নিম্নবিভব অর্থাৎ, ঋণাত্মক মেরু ও কার্বনদণ্ড উচ্চবিভব অর্থাৎ, ধনাত্মক মেরু গঠন করে। অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড

লেকল্যান্স কোষ
চিত্র নং 25

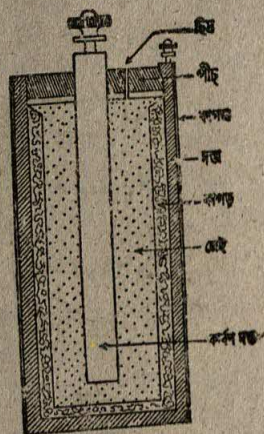
দ্রবণ কোষের সক্রিয় তরল। ম্যাংগানিজ ডাই-অক্সাইড ছদন-নিবারক। কোষের তড়িচ্চালক বল প্রায় 1·5 ভোল্ট।

এই কোষের ক্রিয়া হইবার সময় হাইড্রোজেন গ্যাসের উৎপত্তি হয়। কিন্তু MnO_2 উহাকে জলে পরিণত করে। এই কোষের সর্বপ্রধান অসুবিধা হইল MnO_2 ও H_2-এর ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া এত আস্তে আস্তে হয় যে, H_2 গ্যাস আসামাত্র সংগে সংগে জলে পরিণত হয় না। কিছু H_2 গ্যাস থাকিয়া যায়। তাই, যখন এই কোষ একটানা কিছুক্ষণ ধরিয়া তড়িৎপ্রবাহ দেয় তখন ছদনক্রিয়া সম্পূর্ণ নিবারিত হয় না। কিছুক্ষণ কোষকে বিশ্রাম দিলে সঞ্চিত হাইড্রোজেন MnO_2 কর্তৃক ধীরে ধীরে জলে পরিণত হয় এবং কোষ ছদনমুক্ত হইয়া আবার তড়িৎপ্রবাহ দিতে পারে। উপরিউক্ত কারণের জন্য যেখানে বিরতিযুক্ত (intermittent) তড়িৎপ্রবাহ দরকার, যেমন—বৈদ্যুতিক ঘন্টা, টেলিগ্রাফ, টেলিফোন ইত্যাদি সেইখানে এই কোষ ব্যবহৃত হয়। **একটানা অনেকক্ষণ তড়িৎপ্রবাহ প্রয়োজন হইলে লেক্‌ল্যান্স কোষ কখনও ব্যবহৃত হয় না।**

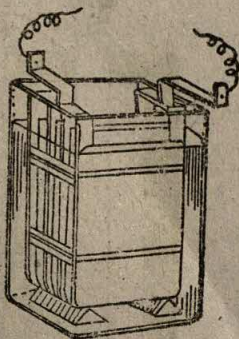
এই কোষের সর্বপ্রধান সুবিধা হইল যে, ইহা সম্পূর্ণরূপে স্থানীয় ক্রিয়া হইতে মুক্ত। তাই, ইহার ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু যোগ না করিয়া এমনি রাখিয়া দিলে কোনরূপ ক্ষতি হয় না। তাছাড়া মাঝে মাঝে জল ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দেওয়া ছাড়া এই কোষের আর কোন যত্ন লইবার প্রয়োজন নাই।

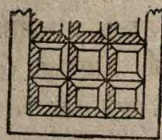
(খ) **নির্জল কোষ** (Dry cell): ইহা লেক্‌ল্যান্স কোষেরই মত, শুধু লেক্‌ল্যান্স কোষের তরলের পরিবর্তে এখানে একটি লেই (paste) ব্যবহার করা হয়। এই কারণে ইহাকে নির্জল কোষ বলা হয়, যদিও ইহা প্রকৃতপক্ষে নির্জল নয়। টর্চ-লাইট, বেতার প্রভৃতি যন্ত্রে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইবার জন্য এই কোষ বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। 26 নং চিত্রে একটি নির্জল কোষের ছবি দেখানো হইল।

নির্জল কোষ
চিত্র নং 26

এই কোষে একটি দস্তার চোঙ্‌কে ধারক পাত্র ও কোষের ঋণাত্মক মেরু হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই পাত্রের মধ্যস্থলে একটি কার্বন-দণ্ড রক্ষিত। এই কার্বনদণ্ড কোষের ধনাত্মক মেরু। কার্বনদণ্ড ও দস্তার চোঙের ভিতরকার জায়গা একটি লেইদ্বারা (paste) পূর্ণ। এই লেই তৈয়ারী করা হয় NH_4Cl দ্রবণ, MnO_2, কার্বন অথবা গ্রাফাইট এবং কিছু জল দিয়া। এক টুকরা কাপড় অথবা ব্লটিং কাগজ দ্বারা দস্তার চোঙ্‌ ও লেইকে পৃথক্‌ করিয়া রাখা হয়। ব্লটিং কাগজ বা কাপড়ের ছিদ্র দিয়া NH_4Cl

দস্তার সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া করে। বলটিং কাগজ বা কাপড়ের বাহিরে চতুষ্পার্শ্বে করাতের গুঁড়া, NH_4Cl ও সামান্য $ZnCl_2$ থাকে। কোষের উপরিভাগ বালি, পিচ প্রভৃতি দ্বারা বন্ধ করা থাকে। গ্যাস বাহির হইবার জন্য পিচের মধ্যে একটি ছিদ্র থাকে। অতঃপর সমস্ত জিনিসটাকে কাগজে মুড়িয়া বাজারে বিক্রির জন্য দেওয়া হয়।

(গ) **সঞ্চয়ক** (Accumulator) বা **সঞ্চয়ক কোষ** (Storage cell or, Secondary cell) ঃ লেক্ল্যান্স বা ড্যানিয়েল কোষে রাসায়নিক পদার্থগুলির ভিতর যে রাসায়নিক ক্রিয়া হয় তাহাই তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করে। যখন এই রাসায়নিক পদার্থগুলির ক্রিয়া শেষ হইয়া যায় তখন ইহারা আর প্রবাহ উৎপন্ন করিতে পারে না। তখন ইহাদের ফেলিয়া দিয়া নতুন করিয়া কোষ তৈয়ারী করিতে হয়। এইজন্য ঐ কোষগুলিকে **প্রাথমিক** (primary) কোষ বলা হয়।

সঞ্চয়ক কোষের কার্যপ্রণালী একটু অন্য রকম। এই কোষে কতকগুলি রাসায়নিক পদার্থের ভিতর ক্রিয়া হইবার ফলে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয় বটে ; কিন্তু রাসায়নিক পদার্থগুলিকে কার্যক্ষম করিবার জন্য বাহিরের কোন উৎস হইতে কোষের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়। ইহাকে কোষের **আহিতকরণ** (charging) বলে। সাধারণত 'মেইন্স' (mains)-এর সাহায্যেই কোষগুলিকে আহিত করা হয়। এইরূপে কোষ সম্পূর্ণ আহিত হইবার পর তাহার ভিতর শক্তি সঞ্চিত হয় ও তাহার ফলে এই কোষ হইতে নানাবিধ কার্যের জন্য তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়। এই কারণে ইহাকে সঞ্চয়ক কোষ বলে। জাহাজে, ট্রেনে, মোটরগাড়িতে আলো জ্বালিবার জন্য, পরীক্ষাগারে নানাবিধ কার্যের জন্য ও পেট্রল এঞ্জিনে সঞ্চয়ক কোষের প্রচুর ব্যবহার দেখিতে পাওয়া যায়।

কোষের বিবরণ ঃ 1856 খ্রীষ্টাব্দে Plante এই কোষের উদ্ভাবন করেন। 27 (i)নং চিত্রে এই কোষের একটি ছবি দেখানো হইল। ইহা একটি পুরু কাচের তৈয়ারী পাত্র। এই

সঞ্চয়ক কোষ
চিত্র নং 27 (i)

সীসার জালি
চিত্র নং 27 (ii)

পাত্রে লঘু H_2SO_4 (সালফিউরিক অ্যাসিড) থাকে। এই অ্যাসিডের

ভিতর কয়েকটি সীসার পাত সমান্তরালভাবে ডুবান থাকে এবং এই পাতগুলি পর্যায়ক্রমে (alternately) ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুইটি তড়িৎ দ্বারের সহিত যুক্ত থাকে। পাতগুলি নিরেট (solid) না করিয়া ঝাঁঝরার মত জালি (gird) করা থাকে [27 (ii) নং চিত্র]। ঝাঁঝরার ফাঁকগুলি লিথার্জ (PbO) কিংবা রেডলেড় (Pb_3O_4) দ্বারা ভর্তি করা থাকে। এই কোষের তড়িচ্চালক বল 2·1 ভোল্ট।

কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় ঃ যখন সঞ্চয়ক কোষ সম্পূর্ণ আহিত হইয়া তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করিবার জন্য প্রস্তুত হয়, তখন ইহার অভ্যন্তরস্থ সালফিউরিক অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·25 হয়। কোষ যে সম্পূর্ণরূপে কার্যক্ষম হইল—ঐ আপেক্ষিক গুরুত্বই হইবে তাহা বুঝিবার প্রকৃষ্ট উপায়। তাছাড়া, আর একটি বিষয়ের প্রতি লক্ষ্য রাখিতে হয়। কখন কখন বাষ্পীভবনের দরুন কোষের অভ্যন্তরস্থ তরল হইতে জলীয় ভাগ কমিয়া যায় এবং অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাড়িয়া যায়। এইজন্য পাত্রের গায়ে একটি দাগ দেওয়া থাকে এবং ঐ স্থানে 'Acid level' কথা লেখা থাকে। যদি কখনও অ্যাসিডের লেভেল ঐ দাগের নীচে চলিয়া যায় তখন কিছু পাতিত জল ঢালিয়া লেভেল পুনরায় ঐ দাগ পর্যন্ত আনিয়া অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঠিক রাখিতে হয়।

একটি সম্পূর্ণ কার্যক্ষম কোষ হইতে তড়িৎপ্রবাহ লইলে উহার ভিতর যে-রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় তাহাতে সালফিউরিক অ্যাসিড ক্রমশ লঘু হইতে শুরু করে এবং উহার তড়িচ্চালক বল পূর্ণ-মান 2·1 volts হইতে আস্তে আস্তে কমিতে থাকে। যখন অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব কমিয়া 1·18 দাঁড়ায় এবং তড়িচ্চালক বল 1·8 volts হয়, তখন বুঝিতে হইবে যে, কোষ আর তড়িৎ-প্রবাহ দিতে সক্ষম নয়। তখন বলা হয়, কোষ সম্পূর্ণরূপে discharged হইয়াছে। ঐ অবস্থায় উহাকে পুনরায় আহিত করিয়া কার্যক্ষম করিতে হয়। তবে কোষ কার্যক্ষম কি-না—তাহা সবসময়ে শুধু তড়িচ্চালক বল দেখিয়া বোঝা যায় না; কারণ কোষ discharged হইবার সময় উহার তড়িচ্চালক বলের বিশেষ পরিবর্তন হয় না। সুতরাং কোষের অবস্থা বুঝিতে গেলে অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব পরীক্ষাই একমাত্র উপায়।

সঞ্চয়ক কোষ ব্যবহার করিবার সময় একটি কথা সর্বদা স্মরণ রাখিতে হইবে যে, কখনও তার দিয়া সরাসরি কোষের দুই মেরু যুক্ত করিবে না—অর্থাৎ, short-circuit করিবে না। তাহাতে কোষ নষ্ট হইয়া যাইবার সম্ভাবনা থাকে।

তড়িৎকোষ সম্পর্কে কয়েকটি প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ তড়িৎকোষ সম্পর্কে পরপৃষ্ঠায় লিখিত তথ্যগুলি সর্বদা মনে রাখা উচিত।

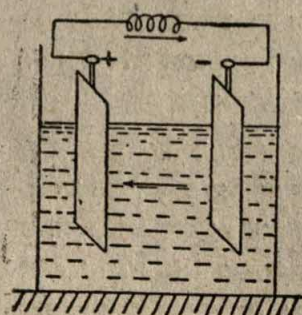
(ক) কোষের তড়িচ্চালক বল কোষের সাইজের উপর নির্ভর করে না; কোষের উপাদানের উপর নির্ভর করে। একই উপাদানে তৈরী কিন্তু ভিন্ন সাইজের তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল সমান।

(খ) কোষের পাত দুইটি আকারে বড় এবং কাছাকাছি হইলে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম হয়; ফলে কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(গ) কোন কোষ মোট যে-পরিমাণ তড়িৎ সরবরাহ করিতে পারে তাহা কোষের উপাদানের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

(ঘ) কোষের পাত এবং সক্রিয় তরলের সংস্পর্শ-তলেই তড়িচ্চালক বলের অবস্থান।

2-8. তড়িৎ-বর্তনী (Electric circuit):

যখন কোন তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু পরিবাহী তার দিয়া যুক্ত করা হয় তখন তড়িৎপ্রবাহ ঐ তার দিয়া ধনাত্মক হইতে ঋণাত্মক মেরুতে যায় এবং কোষের ভিতরে ঋণাত্মক মেরু হইতে ধনাত্মক মেরুতে পৌঁছায় (28 নং চিত্র)। তড়িৎপ্রবাহের এই সম্পূর্ণ পথকে **তড়িৎ বর্তনী** বলে। তারের মধ্য দিয়া এক মেরু হইতে অন্য মেরু পর্যন্ত বলা হয় **বহির্বর্তনী** (external circuit) এবং কোষের ভিতর সক্রিয় তরলের মধ্য দিয়া পথকে বলা হয় **অন্তর্বর্তনী** (internal circuit)। সুতরাং বলা যাইতে পারে, বহির্বর্তনীতে তড়িতের প্রবাহ (+) মেরু হইতে (−) মেরুতে হয় এবং অন্তর্বর্তনীতে (−) মেরু হইতে (+) মেরুতে হয়।

তড়িৎ বর্তনী
চিত্র নং 28

কোষের মেরুদ্বয়কে তার দিয়া যুক্ত করিলে যে বর্তনী হয় তাহাকে **সংহত** (closed) বর্তনী বলা হইবে। একমাত্র সংহত বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ সম্ভব। বর্তনী কাটা থাকিলে উহাকে বলা হয় **খণ্ডিত** (open) বর্তনী এবং ঐ বর্তনী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ হয় না।

2-9. তড়িৎপ্রবাহের ফল (Effects of electric current):

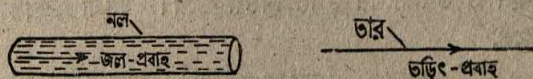
সংহত বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ হইলে নিম্নলিখিত তিনটি ফল দেখিতে পাওয়া যায়। ইহাদের প্রত্যেকটি হইতে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা (strength) নির্ণয় করা যায়।

(1) **তাপীয় ফল** (Heating effect) ঃ যখন কোন পরিবাহী তারের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তখন তার গরম হইয়া পড়ে। দৈনন্দিন বহু রকম ঘটনার মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহের এই ফলের সহিত আমাদের পরিচয় ঘটে। বিজলি বাতির সরু ফিলামেন্টের ভিতর দিয়া যখন তড়িৎপ্রবাহ চলে তখন ফিলামেন্ট এত গরম হইয়া পড়ে যে, তাহা হইতে আলোর সৃষ্টি হয়। তড়িৎ-প্রবাহের এই তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগের দ্বারা বহু প্রয়োজনীয় জিনিসের সৃষ্টি হইয়াছে। এ সম্বন্ধে চতুর্থ পরিচ্ছেদে বিশেষভাবে আলোচনা করা হইয়াছে।

(2) **চুম্বকীয় ফল** (Magnetic effect) ঃ যখন কোন তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন তারের চতুর্দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের (magnetic field) সৃষ্টি হয়। একটি চুম্বক-শলাকা তড়িৎবাহী তারের কাছে আনিলে শলাকার বিক্ষেপ (deflection) এই তথ্য প্রমাণ করিবে। ইহাকে তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল বলা হয়। এই সম্বন্ধে তৃতীয় পরিচ্ছেদে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

(3) **রাসায়নিক ফল** (Chemical effect) ঃ কোন তরলের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে তরলের ভিতর একটি রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হইতে দেখা যায়। যেমন জলের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ গেলে দেখা যায় হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন গ্যাস উৎপন্ন হইতেছে। এক্ষেত্রে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে জলের প্রত্যেকটি অণু বিশ্লিষ্ট হইয়া হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেনের অণুতে পরিণত হয়। এই ঘটনাকে তড়িৎপ্রবাহের রাসায়নিক ফল বলা হয়। পঞ্চম পরিচ্ছেদে ইহার আলোচনা করা হইয়াছে।

2-10. প্রবাহ মাত্রা (Current strength) ঃ

কোন পরিবাহী তারকে তড়িৎ-কোষের সহিত যুক্ত করিলে তার দিয়া স্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ চলিতে থাকে। তড়িতের এই স্থায়ী প্রবাহের সহিত কোন নলের ভিতর দিয়া জলপ্রবাহের যথেষ্ট সাদৃশ্য আছে, পূর্বে বলা হইয়াছে। নলের দুই মুখে চাপের পার্থক্য যদি সর্বদা বজায় রাখা যায় তবে নল দিয়া স্থায়ী জল-প্রবাহ হইবে (29 নং চিত্র)। নল দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে কতখানি জল বাহির

তড়িৎপ্রবাহ ও জলপ্রবাহের সাদৃশ্য

চিত্র নং 29

হইয়া আসিতেছে তাহা দ্বারা আমরা উক্ত জলপ্রবাহের মাত্রা মাপিতে পারি। যদি 10 সেকেণ্ডে 50 গ্রাম জল নল দিয়া বাহির হয় তবে নলের ভিতর দিয়া জলের

প্রবাহ মাত্রা $\frac{50}{10}=5$ গ্রাম প্রতি সেকেণ্ডে। ঠিক একই ভাবে কোন তার দিয়া যখন তড়িৎপ্রবাহ হয় তখন ঐ তারের কোন বিন্দু দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে কতখানি তড়িৎ অতিক্রম করে তাহা দ্বারা তড়িৎপ্রবাহ মাত্রা মাপা হয়। যদি 't' সেকেণ্ডে 'Q' পরিমাণ তড়িৎ তারের কোন বিন্দু অতিক্রম করে তবে উক্ত তারে তড়িতের প্রবাহমাত্রা (current strength)

$$I=\frac{Q}{t}.$$

2-11. রোধ (Resistance) :

তড়িৎ-বিজ্ঞানে 'রোধ' কথাটি খুব প্রয়োজনীয়। পূর্ব বর্ণিত কোন নল দিয়া জলপ্রবাহের তুলনা দ্বারা রোধ কথার তাৎপর্য খুব সহজেই বোঝা যাইবে।

আমরা দেখিয়াছি, কোন নলের দুই মুখে চাপের পার্থক্য থাকিলে নল দিয়া জলপ্রবাহ হয়। এখন চাপের পার্থক্য ঠিক রাখিয়া যদি নল মোটা বা সরু অথবা বেশী লম্বা বা কম লম্বা করা হয় তবে কি প্রবাহ-মাত্রা ঠিক থাকিবে? একথা সহজেই বোঝা যায়, প্রবাহ-মাত্রা নলের প্রস্থচ্ছেদ (cross section) এবং দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। প্রস্থচ্ছেদ বেশী হইলে অর্থাৎ মোটা নল হইলে প্রবাহ-মাত্রা বৃদ্ধি পাইবে কিন্তু নল দীর্ঘ হইলে প্রবাহ-মাত্রা হ্রাস পাইবে। অর্থাৎ, আমরা বলিতে পারি, মোটা নলে জল-প্রবাহ কম বাধা পায় কিন্তু নল দীর্ঘ হইলে বাধা বৃদ্ধি পায়।

কোন তার দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ হইলে ঠিক একই ব্যাপার ঘটে। অর্থাৎ, তড়িতের প্রবাহ-মাত্রা তারের প্রস্থচ্ছেদ ও দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। প্রস্থচ্ছেদ বাড়িলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং দৈর্ঘ্য বেশী হইলে প্রবাহমাত্রা কমিয়া যায়। সুতরাং আমরা বলিতে পারি, মোটা তারে তড়িৎপ্রবাহ কম বাধা পায় এবং তারের দৈর্ঘ্য বাড়িলে বাধা বৃদ্ধি পায়। তড়িৎপ্রবাহের বিরুদ্ধে এই বাধাকে রোধ (resistance) বলা হয়। কোন পরিবাহীর রোধ উক্ত পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ, দৈর্ঘ্য ও উপাদানের উপর নির্ভর করে।

রোধের নিয়ম (Law of resistance) : কোন পরিবাহীর রোধ পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ ও উপাদানের উপর নির্ভর করে। দৈর্ঘ্য l, প্রস্থচ্ছেদ A এবং রোধ R হইলে,

(ক) একই উপাদান ও সমান প্রস্থচ্ছেদযুক্ত বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের তারের রোধ তারের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক অর্থাৎ $R \propto l$ যখন A অপরিবর্তিত থাকে।

(খ) একই উপাদানের ও সমান দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদযুক্ত তারের রোধ তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ $R \propto \frac{1}{A}$ যখন l অপরিবর্তিত থাকে।

(গ) সমান প্রস্থচ্ছেদ ও সমান দৈর্ঘ্যের কিন্তু বিভিন্ন উপাদানের তারের রোধ তারের উপাদানের উপর নির্ভর করে।

সুতরাং $R \propto \frac{l}{A}$ অথবা $R = \rho \times \frac{l}{A}$ [ρ=ধ্রুবক]

ধ্রুবক ρ-কে বলা হয় **রোধাঙ্ক** (specific resistance বা resistivity)। ইহা পরিবাহীর উপাদানের উপর নির্ভর করে।

যদি তারের প্রস্থচ্ছেদ গোলীয় হয় এবং ঐ প্রস্থচ্ছেদের ব্যাস d হয় তবে,

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad \therefore \quad R = \rho \times \frac{l}{\pi d^2/4} = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$$

ইহা হইতে বোঝা যায় যে অন্যান্য রাশিগুলি অপরিবর্তিত থাকিলে তারের রোধ তারের ব্যাসের বর্গের সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তন করে। অর্থাৎ ব্যাস দ্বিগুণ হইলে রোধ $\frac{1}{4}$ হইবে, আবার ব্যাস অর্ধেক হইলে, রোধ 4 গুণ বৃদ্ধি পাইবে।

রোধাঙ্কের সংজ্ঞা : যখন $l=1$ এবং $A=1$; তখন $R=\rho$ অর্থাৎ কোন উপাদানের রোধাঙ্ক বলিতে ঐ উপাদানের একক ঘনকের রোধ বুঝায়। যেমন, তামার রোধাঙ্ক $1 \cdot 62 \times 10^{-6}$ বলিতে আমরা বুঝি যে 1 সে. মি. দৈর্ঘ্য, 1 সে. মি. প্রস্থ এবং 1 সে. মি. উচ্চতাবিশিষ্ট তামার একটি ঘনক (এক সেন্টিমিটার ঘনক) লইলে উহার দুই বিপরীত তলের মধ্যে রোধ হইবে $1 \cdot 62 \times 10^{-6}$ ওহম।

উদাহরণ : (1) 3 mm ব্যাসার্ধ ও 31·4 cm দীর্ঘ একটি ধাতব তারের রোধ $0 \cdot 2 \times 10^{-3}$ ohm ; ধাতুর রোধাঙ্ক নির্ণয় কর। [*H. S. Exam., 1978*]

উ। আমরা জানি, $R = \rho . \frac{l}{A} \quad \therefore \quad \rho = \frac{R.A}{l}$

এখানে $R = 0 \cdot 2 \times 10^{-3}$ ohm ; $l = 31 \cdot 4$ cm ; $A = \pi r^2 = \pi (0 \cdot 3)^2$ sq. cm.

$$\therefore \quad \rho = \frac{0 \cdot 2 \times 10^{-3} \times \pi (0 \cdot 3)^2}{31 \cdot 4} = \frac{0 \cdot 2 \times 10^{-3} \times 3 \cdot 14 \times (0 \cdot 3)^2}{31 \cdot 4}$$

$$= 18 \times 10^{-7} \text{ ohm-cm.}$$

(2) দুইটি তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাস এবং রোধাঙ্ক—প্রত্যেকটির অনুপাত 1 : 3 ; সরু তারটির রোধ 20 ohm হইলে, অপর তারটির রোধ কত ?

উ। সরু তারের রোধ $R_1 = \frac{\rho_1 l_1}{\pi r_1^2}$ এবং অপর তারের রোধ $R_2 = \frac{\rho_2 . l_2}{\pi r_2^2}$

$$\therefore \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} . \frac{l_1}{l_2} . \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \times \left(\frac{3}{1}\right)^2 = 1 \quad \therefore \quad R_2 = R_1$$

অতএব, অপর তারের রোধ 20 ohm.

(3) A এবং B দুইটি তারের রোধের অনুপাত 1·2 ; A তারটির দৈর্ঘ্য 1·2 মিটার এবং রোধাঙ্ক 100×10^{-6} ohm-cm, ইহার ব্যাস 1·2 mm ; B তারের ব্যাস 0·8 mm. এবং রোধাঙ্ক 28×10^{-6} ohm-cm. B তারের দৈর্ঘ্য কত ?

উ। A তারের বেলায় লেখা যায় $R_1=\frac{\rho_1.l_1}{A_1}$ এবং B তারের বেলায় $R_2=\frac{\rho_2.l_2}{A_2}$

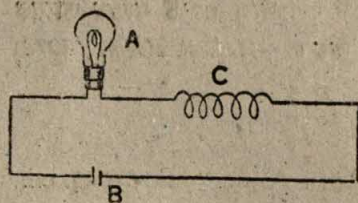
$\therefore \frac{R_1}{R_2}=\frac{\rho_1}{\rho_2}.\frac{l_1}{l_2}.\frac{A_2}{A_1}=\frac{\rho_1}{\rho_2}.\frac{l_1}{l_2}.\frac{d_2^2}{d_1^2}$ [d_1 এবং d_2 তার দুইটির ব্যাস]

অথবা, $1\cdot2=\frac{100}{28}\times\frac{1\cdot2}{l_2}\times\left(\frac{0\cdot8}{1\cdot2}\right)^2 \quad \therefore \quad l_2=\frac{100\times1\cdot2}{28\times1\cdot2}\times\frac{64}{144}$

$=1\cdot59$ মিটার।

2-12. প্রবাহমাত্রা কাহার উপর নির্ভর করে ?

নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষাদ্বারা বোঝা যাইবে, কোন বর্তনীতে (circuit) তড়িৎ প্রবাহমাত্রা কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

পরীক্ষা ঃ A একটি ছোট বৈদ্যুতিক বাতি (30 নং চিত্র)। B তড়িৎ-কোষের সহিত ইহাকে যুক্ত করিলে তড়িৎপ্রবাহের ফলে বাতি জ্বলিবে। এখন যদি একটি তারের কুণ্ডলী C উহাদের সহিত যুক্ত করা যায় তবে দেখা যাইবে, বাতিটির উজ্জ্বলতা একটু কমিয়া গেল। যদি আরও ঐরূপ কয়েকটি কুণ্ডলী বর্তনীতে যুক্ত করা যায় তবে দেখা যাইবে, উজ্জ্বলতা ক্রমশ কমে। এইরূপ হইবার কারণ কি ? কারণ, কুণ্ডলীগুলি যোগ করিবার ফলে সমগ্র বর্তনীর রোধ বৃদ্ধি পায় এবং প্রবাহ-মাত্রা ক্রমশ কমিয়া যায়। ফলে বাতির উজ্জ্বলতা আস্তে আস্তে কমে।

চিত্র নং 30

যদি কুণ্ডলীর সংখ্যা ঠিক রাখিয়া B-তড়িৎকোষের সহিত আরও কয়েকটি তড়িৎকোষ যুক্ত করা যায় তবে দেখা যাইবে, বাতির উজ্জ্বলতা বৃদ্ধি পাইয়াছে। সুতরাং বেশী সংখ্যায় তড়িৎ-কোষ ব্যবহারে বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

উপরের পরীক্ষা হইতে বলা যায়, কোন বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা নিম্নলিখিত দুইটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে ঃ

(i) বর্তনীতে তারের পরিমাণ—অর্থাৎ, বর্তনীর মোট রোধ,

(ii) বর্তনীর মোট তড়িৎ-কোষের সংখ্যা—অর্থাৎ, বর্তনীর মোট বিভব প্রভেদ।

2-13. ওহম সূত্র (Ohm's law) :

1826 খ্রীষ্টাব্দে বিশিষ্ট বিজ্ঞানী জি. এস্. ওহম প্রবাহমাত্রা ও বিভব-প্রভেদ সম্পর্কযুক্ত সূত্র নির্ণয় করেন। এই সূত্রকে ওহম সূত্র বলা হয়।

তাপমাত্রা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থা (physical condition) অপরিবর্তিত থাকিলে কোন পরিবাহীর প্রবাহমাত্রা ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-প্রভেদের সমানুপাতিক।

[For a given conductor the strength of the current that passes through it, is proportional to the potential difference maintained between the ends of the conductor provided its temperature and other physical conditions remain constant.]

ধর, কোন পরিবাহীর প্রবাহমাত্রা I এবং উহার দুই প্রান্তের বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B; পরিবাহীর তাপমাত্রা এবং অন্যান্য ভৌত অবস্থা (যেমন দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ ইত্যাদি) পরিবর্তন না করিলে, ওহম সূত্রানুযায়ী, $(V_A - V_B) \propto I$.

অথবা, $\frac{V_A - V_B}{I} = R$; এক্ষেত্রে R একটি ধ্রুবসংখ্যা এবং ইহাকেই বলা হয় পরিবাহীর রোধ। সুতরাং পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ ও প্রবাহমাত্রার অনুপাতকে পরিবাহীর রোধ বলা হয়।

2-14. তড়িৎ সম্বন্ধীয় বিভিন্ন রাশির ব্যবহারিক একক :

(i) **তড়িতের পরিমাণ** (Quantity of electricity) : তড়িতের পরিমাণকে **কুলম্ব** (coulomb) এককে প্রকাশ করা হয়। যে পরিমাণ তড়িৎ সিলভার নাইট্রেট (silver nitrate) দ্রবণে পাঠাইলে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে 0·001118 গ্র্যাম রূপা ক্যাথোড প্লেটে জমা করিতে পারে তাহাকে 1 কুলম্ব ধরা হয়।

(ii) **তড়িতের প্রবাহমাত্রা** (Current strength) : প্রবাহমাত্রার ব্যবহারিক একক অ্যাম্পীয়ার (ampere)। পরিবাহীর কোন বিন্দু দিয়া যদি এক সেকেণ্ডে এক কুলম্ব তড়িৎ অতিক্রম করে, তবে পরিবাহীর প্রবাহমাত্রাকে এক অ্যাম্পীয়ার ধরা হয়। অর্থাৎ, $\text{অ্যাম্পীয়ার} = \frac{\text{কুলম্ব}}{\text{সেকেণ্ড}}$ ।

(iii) **বিভব প্রভেদ ও তড়িচ্চালক বল** (Potential difference and Electromotive force) : উভয়েরই ব্যবহারিক একক **ভোল্ট** (volt)। যদি পরিবাহীর এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে 1 কুলম্ব তড়িৎ পাঠাইতে 10^7 erg অথবা 1 জুল কার্য করিতে হয়, তবে উক্ত পরিবাহীর বিভব-প্রভেদ 1 ভোল্ট ধরা হয়।

(iv) **রোধ** (Resistance) ঃ রোধের ব্যবহারিক একক **ওহম** (ohm)। যদি কোন পরিবাহীর প্রান্তস্থ বিভব-প্রভেদ 1 ভোল্ট হইলে, পরিবাহী দিয়া 1 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ যায়, তবে ঐ পরিবাহীর রোধ 1 ওহম।

$$\text{অর্থাৎ ওহম} = \frac{\text{ভোল্ট}}{\text{অ্যাম্পীয়ার}}$$

2-15. তড়িচ্চালক বল ও বিভব-প্রভেদের পার্থক্য (Difference between electromotive force and potential difference) ঃ

তড়িৎ-বর্তনী আলোচনা করিতে গিয়া প্রায়ই তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-প্রভেদের কথা আসে। পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে ইহাদের একক অভিন্ন; কিন্তু মনে রাখা দরকার যে উহারা এক জিনিস নয়।

তড়িৎ-বর্তনীর কোন অংশে যদি অন্যান্য শক্তি তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয় তাহা হইলে বর্তনীর ঐ অংশে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। অর্থাৎ তড়িচ্চালক বলকে এমন একটি উৎসরূপে কল্পনা করা যাইতে পারে যাহা অন্যান্য শক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করে। তড়িচ্চালক বলের ক্রিয়ার ফলে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ পৃথক্ হইয়া পড়ে এবং উহারা কিছু বৈদ্যুতিক স্থিতি-শক্তির (electrical potential energy) অধিকারী হয়। তখন উহাদের ভিতর একটি বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয়। তড়িচ্চালক বলের সংজ্ঞা হিসাবে বলা হয় কোষ যখন খণ্ডিত বর্তনীতে থাকে তখন উহার বিভব-বৈষম্যকে তড়িচ্চালক বলের সমান ধরা হয়।

আবার, তড়িৎ-বর্তনীর কোন অংশে যদি তড়িৎ-শক্তি অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তাহা হইলে বর্তনীর ঐ অংশে বিভব-প্রভেদ আছে বলিয়া ধরা হয়। বিভব-প্রভেদের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে তড়িতাধানের বৈদ্যুতিক স্থিতিশক্তি লোপ পায় এবং তৎপরিবর্তে তাপশক্তি, যান্ত্রিক শক্তি, রাসায়নিক শক্তি ইত্যাদি অন্যান্য প্রকার শক্তির উদ্ভব হয়।

সংক্ষেপে বলা যায় যে কোন তড়িৎ-কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে উহার দুই পাতে যে বিভব-বৈষম্য ঘটে, তাহাই তড়িচ্চালক বল। কিন্তু যখন তড়িৎ-কোষ বর্তনীতে প্রবাহ পাঠায় তখন তড়িৎপ্রবাহ কোষের ভিতরকার তরলের রোধ অতিক্রম করায় পাত দুইটির বিভব-বৈষম্য কিছু কমিয়া যায়। তখনকার বিভব-বৈষম্যকেই কোষের বিভব-প্রভেদ বলা হয়; সুতরাং বিভব-প্রভেদ তড়িচ্চালক বল অপেক্ষা সর্বদা কম।

তাছাড়া, তড়িচ্চালক বলকে যদি কারণ ধরা যায়, তবে বিভব-প্রভেদ হইবে উহার ফল।

রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব ঃ পরিবাহীর রোধ উহার তাপমাত্রার

উপর নির্ভর করে। সাধারণত তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা কমিলে, রোধ কমিয়া যায়।

ধর, R_0=কোন পরিবাহীর 0°C তাপমাত্রায় রোধ ; R_t=ঐ পরিবাহীর t°C তাপমাত্রায় রোধ। তাহা হইলে, $R_t=R_0(1+\alpha.t)$; α একটি ধ্রুবরাশি। ইহাকে বলা হয় **রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক** (temperature co-efficient of resistance)।

কার্বন, ভালকানাইজড্ ইণ্ডিয়া রাবার প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থের রোধ তাপমাত্রাবৃদ্ধির ফলে কমিয়া যায়। যেমন, কার্বন ফিলামেন্টে তৈয়ারী বৈদ্যুতিক বাতির ঠাণ্ডা অবস্থায় রোধ জ্বলন্ত অবস্থায় হ্রাস পাইয়া প্রায় অর্ধেক হয়। এই কারণে সাধারণভাবে ধাতবপদার্থের রোধের তাপমাত্রাগুণাঙ্ক ধনাত্মক কিন্তু কার্বন, ভালকানাইজড্ ইণ্ডিয়া রাবার প্রভৃতি পদার্থের রোধের তাপমাত্রাগুণাঙ্ক ঋণাত্মক।

উদাহরণ ঃ একটি 1·5 ভোল্টের সেলের সহিত একটি বাতি ও একটি 10 ওহম রোধ সিরিজে যুক্ত করিয়া দেখা গেল বর্তনীর প্রবাহ 120 mA.। এখন রোধটির মান শূন্য করিলে বর্তনীর প্রবাহ 500 mA দাঁড়াইল। বাতির রোধ কতটা পরিবর্তিত হইল? এই রোধের পরিবর্তন কিভাবে ব্যাখ্যা করা যায়?

[*M. Exam., 1987*]

উ। প্রথম ক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা$=120\ mA=\frac{120}{1000}$ amp$=\frac{3}{25}$ amp.

এখন ওহম সূত্র হইতে পাই, প্রবাহমাত্রা$=\frac{\text{তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}}$

$$\text{অথবা}\quad \frac{3}{25}=\frac{1\cdot5}{10+R}\ [R=\text{বাতির রোধ}]$$

$\therefore\ 30+3R=37\cdot5$ অথবা $R=2\cdot5$ ohm.

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা$=500\ mA=\frac{500}{1000}$ amp$=\frac{1}{2}$ amp ;

বর্তনীর রোধ=কেবলমাত্র বাতির রোধ$=R_1$ (ধর)।

$$\therefore\ \frac{1}{2}=\frac{1\cdot5}{R_1}\ \text{অথবা}\ R_1=3\ \text{ohm.}$$

অতএব, বাতির রোধের পরিবর্তন$=3-2\cdot5=0\cdot5$ ohm.

বাতির রোধ বৃদ্ধি পাইল কারণ ইহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইল। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বর্তনীর রোধ হ্রাস পাওয়ায় প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং বাতির ফিলামেন্টকে বেশী উত্তপ্ত করে ; ফলে উহার রোধ বাড়ে।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎপ্রবাহ কাহাকে বলে? পরিবাহীতে স্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টির জন্য কি করা প্রয়োজন? [*M. Exam.*, *1988*]

2. সরল ভোল্টীয় কোষ কাহাকে বলে? উহার কার্যপ্রণালীর বিবরণ দাও।

3. সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটিগুলি ব্যাখ্যা কর। [*H. S. Exam.*, *1960*]

4. সরল তড়িৎ কোষের বর্ণনা দাও। উহার ত্রুটিগুলি কি? উহাদের কিভাবে দূর করা হয়? [*M. Exam.*, *1979*]

5. তড়িচ্চালক বল এবং বিভব বৈষম্যের পার্থক্য দেখাও। [*M. Exam.*, *1979*]

6. লেক্‌ল্যান্স কোষের বিবরণ লেখ। কোষের প্রধান ত্রুটিগুলির জন্য এই কোষে কি ব্যবস্থা অবলম্বিত হইয়াছে? [*H. S.* (*Com.*) *1960* ; *M. Exam.*, *1981*]

7. লেক্‌ল্যান্স কোষের ছদন নিবারক কিভাবে তৈরী করা হয়? একটানা অনেকক্ষণ ব্যবহারের জন্য লেকল্যান্স কোষ সুবিধাজনক নহে কেন ব্যাখ্যা কর। এই কোষের তড়িচ্চালক বল কত?

8. নির্জল কোষ তৈয়ারী করিবার উপায় কি? এই কোষ কি কার্যে ব্যবহৃত হয়?

9. লেক্‌ল্যান্স কোষের সুবিধা ও অসুবিধা বর্ণনা কর।

10. সঞ্চয়ক কোষ কাহাকে বলে? ইহার সহিত লেক্‌ল্যান্স কোষের পার্থক্য কি?

11. সরল ভোল্টীয় কোষে ত্রুটিগুলি কি? একটি সীসা সঞ্চয়ক কোষ বর্ণনা কর। [*M. Exam.*, *1983*]

12. নিম্নলিখিত কার্যের জন্য কোন্ কোষ ব্যবহার করিবে এবং কেন?

(i) সাইকেলের আলো জ্বালাইবার জন্য, (ii) গৃহ আলোকিত করিবার জন্য, (iii) বৈদ্যুতিক ঘন্টা বাজাইবার জন্য।

13. তড়িৎপ্রবাহের ফল কি? ইহাদের ভিতর একটির ব্যবহারিক প্রয়োগ সম্বন্ধে কিছু আলোচনা কর।

14. নির্জল কোষের তুলনায় সঞ্চয়ক কোষের দুইটি সুবিধা উল্লেখ কর। সঞ্চয়ক কোষের তুলনায় নির্জল কোষের দুইটি সুবিধা উল্লেখ কর।

15. বুদবুদ স্তর কর্তৃক প্রবাহমাত্রা হ্রাসের দুইটি কারণ উল্লেখ কর। এই ত্রুটিকে কি বলা হয়?

16. একটি ভোল্টীয় কোষের সঙ্গে একটি ফ্লাশ বালব যুক্ত করিলে বালব জ্বলিয়া ওঠে। (i) কোষের ভিতর এবং (ii) বালবের ভিতর কিরূপ শক্তির রূপান্তর হয় ব্যাখ্যা কর।

17. তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া এবং রাসায়নিক ক্রিয়া কিভাবে দেখাইবে? [*M. Exam.*, *1980, '82*]

18. রোধ কাহাকে বলে? ইহার একক কি? পরিবাহীর রোধ কোন্ কোন্ বিষয়ের ওপর নির্ভর করে? রোধাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ।

19. একটি তামার তারের রোধ কিভাবে পরিবর্তিত হইবে যদি (i) তারের দৈর্ঘ্য বাড়ানো হয় (ii) তারের ব্যাস কমানো হয়? [*M. Exam., 1981*]

20. ওহ্‌ম সূত্র বিবৃত কর। ইহা হইতে কিরূপে রোধের ধারণা পাওয়া যায়?

21. একটি তারের রোধের কিরূপ পরিবর্তন ঘটিবে যদি—(i) তারের ব্যাস দ্বিগুণ করা হয় (ii) তারের দৈর্ঘ্য হ্রাস করা হয়?

22. পরিবাহীর রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব কি? এই প্রভাব ধাতু এবং কার্বনের উপর কি একই রকম?

● Objective type :

23. নিম্নলিখিত উক্তিগুলি শুদ্ধ কি অশুদ্ধ লেখ ঃ

(a) নির্জল কোষে কার্বনদণ্ড ধনাত্মক মেরু গঠন করে।

(b) লেকল্যান্স কোষে ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড ছদন নিবারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(c) দুই বিন্দুর মধ্যে অবিরত তড়িতাধানের প্রবাহ সৃষ্টি করিতে হইলে বিন্দুদ্বয়ের ভিতর বিভবপার্থক্য অপরিবর্তিত রাখিতে হইবে।

(d) কোষের তড়িচ্চালক বল ঐ কোষের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ অপেক্ষা সামান্য কম।

(e) কার্বনের রোধ তাপমাত্রাবৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়।

(f) একই দৈর্ঘ্য এবং একই পদার্থের একটি মোটা তারের রোধ অপেক্ষাকৃত সরু তারের রোধ অপেক্ষা কম।

24. তিনটি বিকল্প হইতে একটি নির্বাচন করিয়া নিম্নলিখিত উক্তিগুলি সম্পূর্ণ কর ঃ

(a) একটানা তড়িৎ প্রবাহ লইতে সকল প্রকার কোষ ব্যবহার করা যায় একমাত্র (i) সঞ্চয়ক কোষ ছাড়া, (ii) ড্যানিয়েল কোষ ছাড়া, (iii) লেকল্যান্স কোষ ছাড়া।

(b) নির্জল কোষে ঋণাত্মক মেরু গঠিত হয় (i) কার্বন দণ্ড দ্বারা, (ii) জিংক দণ্ড দ্বারা, (iii) পাত্র দ্বারা।

(c) কোন কোষকেই গৌণ কোষ বলা যায় না, একমাত্র (i) ড্যানিয়েল কোষ ছাড়া (ii) নির্জল কোষ ছাড়া (iii) সঞ্চয়ক কোষ ছাড়া।

(d) তড়িচ্চালক বল অপরিবর্তিত রাখিয়া বর্তনীর রোধ কমাইলে, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা (i) বাড়ে, (ii) কমে, (iii) বাড়েও না; কমেও না।

(e) কোন তারের প্রস্থচ্ছেদ বৃদ্ধি করিলে, উহার রোধ (i) বাড়ে, (ii) কমে, (iii) পরিবর্তিত হয় না।

অঙ্ক ঃ

25. একটি 100 ohm রোধের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ 60 volts হইলে রোধের প্রবাহমাত্রা কত? [Ans. 0·6 amp.]

26. 100 cm দীর্ঘ ও 2 sq. cm প্রস্থচ্ছেদযুক্ত একটি তারের দুই প্রান্তে 2 milli-volt বিভবপার্থক্য আছে। তার দিয়া 0·2 amp প্রবাহ যায়। তারের উপাদানের রোধাঙ্ক কত?

[Ans. 2×10^{-6} ohm-cm]

27. 200 volt মেইনসে একটি বৈদ্যুতিক বাতি লাগাইলে, বাতিতে 0·5 amp প্রবাহ যায়। বাতিতে 150 volt বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করিলে, কত প্রবাহ যাইবে?

[Ans. 0·375 amp]

28. 30 মিটার দীর্ঘ ও 1 মি. মি. ব্যাসযুক্ত একটি তামার তারের রোধ নির্ণয় কর। তামার রোধাঙ্ক $=1{\cdot}7 \times 10^{-6}$ ohm-cm.

[Ans. 0·65 ohm]

29. 1·5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের একটি কোষকে শ্রেণীবদ্ধভাবে আবদ্ধ 2 এবং 3 ohm -এর দুইটি রোধের সঙ্গে যুক্ত করা হইল। উহাদের ভিতর দিয়া প্রবাহমাত্রা এবং 2 ohm রোধের প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ নির্ণয় কর।

[Ans. 0·3 amp ; 0·6 volt]

30. 2 volt-এর কোষকে একটি বাতি ও 5 ohm রোধের সহিত যুক্ত করা হইল। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা দেখা গেল 0·2 amp ; পরে, কোষটিকে শুধু বাতির সহিত যুক্ত করা হইল এবং তখন বর্তনীর প্রবাহমাত্রা হইল 0·33 amp. বাতির রোধের পরিবর্তন কত হইল? এই পরিবর্তন ব্যাখ্যা কর।

[Ans. 1·06 ohm]

31. একটি বর্তনীতে একটি 2·0 volt-এর কোষ, একটি 100 ohm রোধ ও একটি অজানা মানের রোধ শ্রেণী সজ্জায় থাকিলে বর্তনীতে 0·01 amp. প্রবাহ চলিতে থাকে। কোষটির কোন অভ্যন্তরীণ রোধ নাই ধরিয়া অজানা রোধটির মান নির্ণয় কর।

[*M. Exam. .1988*] [Ans. 100 ohm]

[সংকেত : $I=\dfrac{E}{R+r}$; $I=0{\cdot}01$ amp ; $E=2$ volt ; $r=100$ ohm]

32. প্রতিটি 1·5 volt তড়িচ্চালক বল ও 3 ohm অভ্যন্তরীণ রোধ সহ পাঁচটি কোষ শ্রেণী সমবায়ে 10 ohm এর একটি রোধের সংগে যুক্ত। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

[Ans. 0.3 amp.]

$$\left[\text{সংকেত : } I=\frac{5 \times 1{\cdot}5}{10+5 \times 3}\right]$$

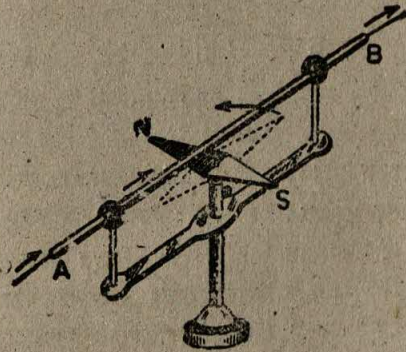
তৃতীয় পরিচ্ছেদ

তড়িৎ এবং চুম্বকের পারস্পরিক ক্রিয়া
(Interaction of Electricity and Magnet)

(ক) চুম্বকের উপর তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়া
(Action of electric current on magnet)

3-1. ওরস্টেড-এর পরীক্ষা ঃ

তড়িৎপ্রবাহের বিভিন্ন ফল আলোচনা করিবার সময় তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল সম্বন্ধে বলা হইয়াছে। চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের এই ফল সর্বপ্রথম ওরস্টেড লক্ষ্য করেন 1820 সালে। নিম্নে ওরস্টেড-এর পরীক্ষা বর্ণনা করা হইল।

AB একটি পরিবাহী তার যাহার ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলিতে পারে। তারের নীচে একটি চুম্বক-শলাকা (magnetic needle) রাখা আছে। যখন তারের ভিতর দিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ চলে না তখন চুম্বক-শলাকা তারের সমান্তরালভাবে উত্তর-দক্ষিণমুখী হইয়া অবস্থান করে। 31 নং চিত্রে কাট-

AB তারের তড়িৎপ্রবাহ না থাকিলে চুম্বক-শলাকা তারের সমান্তরাল থাকে,
তড়িৎপ্রবাহ চলিলে শলাকার বিক্ষেপ হয়

চিত্র নং 31

কাটা রেখাদ্বারা (dotted lines) ঐ অবস্থানকে দেখানো হইয়াছে। কিন্তু তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠানোর সঙ্গে সঙ্গে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ হইবে এবং শলাকা তারের সহিত লম্বভাবে অবস্থান করিবে (31 নং চিত্র)। যদি তার শলাকার নীচু দিয়া যায় তবে শলাকার বিক্ষেপ উল্টা দিকে হইবে। অথবা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ A হইতে B-এর দিকে না করিয়া উল্টাইয়া B হইতে A-র দিকে করিলেও শলাকার বিক্ষেপ উল্টাদিকে হইবে।

এই পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণ হয়, তড়িৎপ্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করিতে পারে, কারণ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব ছাড়া চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ হইতে পারে না।

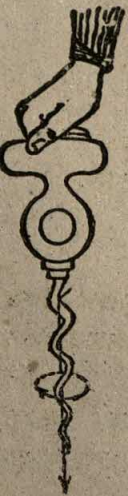
ওরস্টেড-এর এই আবিষ্কার তড়িৎবিজ্ঞানে এক নতুন যুগের সূচনা করিল ; কারণ, তড়িৎ ও চুম্বকের পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে বহু প্রয়োজনীয় তড়িৎ-যন্ত্র তৈয়ারী হইয়াছে।

3-2. চুম্বক-বিক্ষেপের দিক্‌নির্ণয়ের নিয়ম ঃ

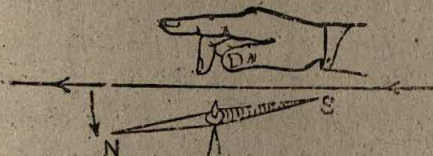
পূর্ব-বর্ণিত পরীক্ষায় আমরা দেখিয়াছি, চুম্বক-শলাকা তারের উপরে রাখিলে যে দিকে বিক্ষেপ হয় নীচে রাখিলে বিক্ষেপ উল্টা দিকে হয়। অথবা তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলেও বিক্ষেপ উল্টা দিকে হয়। তড়িৎপ্রবাহের ফলে চুম্বক শলাকার বিক্ষেপের দিক্‌নির্ণয় নিম্নলিখিত তিনটি নিয়মের দ্বারা করা যায় ঃ

(1) অ্যাম্পীয়ারের নিয়ম (Ampere's rule) ঃ মনে কর, কোন ব্যক্তি

অ্যাম্পীয়ারের নিয়ম
চিত্র নং 32

তড়িদ্‌বাহী তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখে এমনভাবে হাত ছড়াইয়া সাঁতরাইতেছে যে, তাহার দৃষ্টি সর্বদা চুম্বকের দিকে থাকে (32 নং চিত্র)। এই অবস্থায় ব্যক্তির বাম হাতের দিকে চুম্বকের উত্তর মেরু (N-pole) বিক্ষিপ্ত হইবে। সুতরাং দক্ষিণ-মেরু ঐ ব্যক্তির ডান হাতের অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হইবে।

(2) ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম (Maxwell's cork-screw rule) ঃ পরিবাহী তার দিয়া যে-দিকে তড়িৎ প্রবাহ হইতেছে—মনে কর, একটি ডানপাকের (right handed) কর্ক-স্ক্রুকে পরিবাহী তার বরাবর সেই দিকে চালনা করা হইতেছে। এই অবস্থায় বৃদ্ধাঙ্গুলী যেদিকে ঘুরিবে চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরু সেইদিকে বিক্ষিপ্ত হইবে (33 নং চিত্র)।

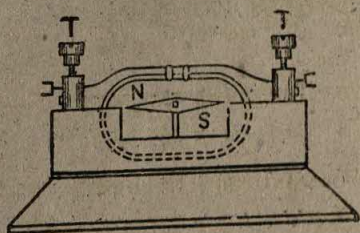
কর্ক-স্ক্রু নিয়ম
চিত্র নং 33

(3) **বৃদ্ধাঙ্গুষ্ঠ নিয়ম (Thumb rule)** ঃ ডান হাতের প্রথম তিনটি আঙুল এমনভাবে প্রসারিত কর যে, উহারা পরস্পরের সহিত লম্বভাবে অবস্থান করে। তর্জনী (fore finger) তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখী হইলে এবং মধ্যমা

বৃদ্ধাঙ্গুষ্ঠ নিয়ম
চিত্র নং 34

(middle finger) চুম্বক-শলাকার দিকে মুখ করিয়া থাকিলে, বৃদ্ধাঙ্গুলি যে দিকে থাকিবে চুম্বক-শলাকার উত্তরমেরু সেইদিকে বিক্ষিপ্ত হইবে (34 নং চিত্র)।

3-3. তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফলের প্রয়োগ ঃ

(i) **গ্যালভানোস্কোপ (Galvanoscope)** ঃ এই যন্ত্র দ্বারা কোন বর্তনীতে ক্ষীণ (weak) তড়িৎপ্রবাহ থাকিলে তাহার অস্তিত্ব নির্ণয় করা যায়। গঠন-প্রণালীর দিক হইতে এই যন্ত্র অত্যন্ত সরল।

পূর্বে বলা হইয়াছে কোন পরিবাহীতে তড়িৎপ্রবাহ চলিতে থাকিলে এবং উহার নীচে কোন চুম্বকশলাকা রাখিলে চুম্বকশলাকার বিক্ষেপ হয় কিন্তু প্রবাহমাত্রা (current strength) খুব ক্ষীণ হইলে বিক্ষেপ এত কম হয় যে, উহা প্রায় বোঝাই যায় না। কিন্তু তড়িৎবাহী তারকে যদি চুম্বক-শলাকার চতুর্দিকে বেষ্টন করিয়া আয়তক্ষেত্রের আকার দেওয়া হয় এবং কুণ্ডলীর তল চৌম্বক মধ্যরেখায় স্থাপন করা যায় তবে চুম্বকশলাকার বিক্ষেপ বৃদ্ধি পাইবে। কুণ্ডলীর পাকের সংখ্যা (number of turns) বৃদ্ধি করিলে বিক্ষেপ আরও বৃদ্ধি পাইবে। ইহার কারণ সূচী-চুম্বকের উপরে তারের যে-অংশ থাকে তাহাতে তড়িৎপ্রবাহ যে-অভিমুখে যায় নীচের অংশে প্রবাহ বিপরীত মুখে যায়। কিন্তু তারের দুই অংশ সূচী-চুম্বকের উপরে এবং নীচে থাকায় চুম্বকের বিক্ষেপ একই দিকে হয় এবং বিক্ষেপ বাড়িয়া যায়। আবার, তারের পাকের সংখ্যা একাধিক করিলে বিক্ষেপও ততগুণ বাড়িয়া যায়। গ্যাল-ভানোস্কোপ যন্ত্র এই নীতি অনুযায়ী কার্য করে।

গ্যালভানোস্কোপ
চিত্র নং 35

35 নং চিত্রে একটি গ্যালভানোস্কোপের আকৃতি দেখানো হইয়াছে। কয়েক

পাকের তারের একটি কুণ্ডলীর ভিতর N-S একটি চুম্বক-শলাকা বসানো আছে। সাধারণ অবস্থায় চুম্বকশলাকা চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর মুখ করিয়া থাকিবে। কুণ্ডলী এমনভাবে আবদ্ধ করা হয় যে, উহার তল এই মধ্যরেখা বরাবর স্থাপিত হয়। তারের দুই প্রান্ত দুইটি বন্ধনীর (T, T) সহিত যুক্ত। এই বন্ধনীদ্বয়ের সহিত তড়িৎবাহী কোন বর্তনী সংযুক্ত করিলে ঐ প্রবাহ কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া যাইবে এবং চুম্বকশলাকার বিক্ষেপ সৃষ্টি করিবে।

(ii) Tangent **গ্যালভ্যানোমিটার ঃ** গ্যালভ্যানোমিটার যন্ত্রদ্বারা কোনতড়িৎ-বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা মাপা যায়। পরীক্ষাগারে নানাপ্রকার গ্যালভ্যানো মিটার যন্ত্র ব্যবহৃত হইতে দেখা যায়। Tangent গ্যালভ্যানোমিটার তাহাদের মধ্যে অন্যতম। এই যন্ত্রে তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফলের প্রয়োগ করা হইয়াছে।

36 নং চিত্রে একটি Tangent গ্যালভ্যানোমিটারের ছবি দেখানো হইল। কয়েক পাক অন্তরিত তামার তার একটি উল্লম্ব (vertical) কাঠের গোল ফ্রেমের খাঁজে জড়ানো থাকে। এই তারের দুই প্রান্ত একটি অনুভূমিক পাটাতন B-এর উপর আটকানো দুইটি বন্ধনীর (T, T) সহিত যুক্ত। পাটাতনকে অনুভূমিক করিবার জন্য কয়েকটি স্ক্রু (S, S) দেওয়া আছে। তার জড়ানো ফ্রেম একটি উল্লম্ব অক্ষের (vertical axis) চারিপাশে আবর্তন করিতে পারে। এই ফ্রেমের অথবা তার কুণ্ডলীর কেন্দ্রস্থলে একটি অনুভূমিক বৃত্তাকার কাচের ঢাকনাযুক্ত চাকতি A লাগানো আছে। এই চাকতির কেন্দ্রে অর্থাৎ তারের কুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি ছোট চুম্বক N—S এমনভাবে আটকানো আছে যে, চুম্বকটি বাধাহীন-ভাবে আবর্তিত হইতে পারে। এই চুম্বকের সহিত লম্বভাবে একটি লম্বা অ্যালুমিনিয়াম কাঁটা (pointer) আটকানো থাকে। কাঁটা একটি অনুভূমিক স্কেলের উপর ঘুরিতে সক্ষম। স্কেলটি 0°—90° ভাগে চারিটি পাদে (quadrant) বিভক্ত থাকে। সুতরাং কাঁটা স্কেলের উপর যে-কোণে আবর্তিত হইবে চুম্বকের আবর্তন-কোণও তাহাই হইবে।

Tangent গ্যালভ্যানোমিটার
চিত্র নং 36

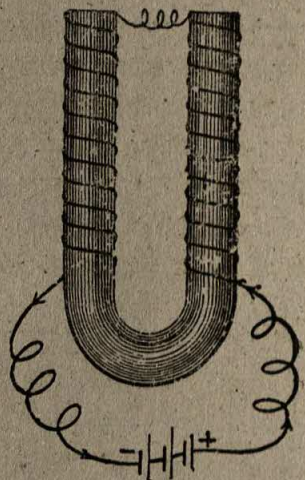
এই যন্ত্র ব্যবহার করিতে গেলে সর্বপ্রথম S, S স্ক্রুগুলির সাহায্যে পাটাতন B-অনুভমিক করিয়া লইতে হইবে। অতঃপর ফ্রেমকে ঘুরাইয়া ইহার তল এবং চুম্বকের তল এক করিতে হইবে। এই অবস্থায় চুম্বক ও ফ্রেম চৌম্বক

মধ্যরেখায় অবস্থান করে। তখন কাঁটা স্কেলের 0°—0° দাগের সহিত মিশিয়া থাকিবে। এইবার T, T বন্ধনীদ্বয়ের সহিত তড়িৎ-প্রবাহযুক্ত বর্তনী যোগ করিলে বৃত্তাকার তার দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে। ইহার ফলে বৃত্তের কেন্দ্রের চতুর্দিকে কিছু স্থান ব্যাপিয়া সমবলযুক্ত চৌম্বক-ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। চুম্বক N—S এই চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হইবে। কাঁটার সাহায্যে স্কেল হইতে বিক্ষেপ-কোণ সহজে নির্ণয় করা যাইতে পারে। যদি তারে তড়িৎ-প্রবাহ I amp হয় এবং বিক্ষেপ-কোণ হয় θ তবে প্রমাণ করা যায়,

$$I = 10\ K.\ \tan\theta \qquad [K = \text{ধ্রুবক}]$$

ধ্রুবক K-র মান জানা থাকিলে এবং স্কেল হইতে θ পাঠ করিলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা নির্ণয় করা যায়।

(iii) **তড়িৎ-চুম্বক** (Electro-magnet)ঃ কোন সলিনয়েডের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে সলিনয়েডের দুই মুখে চুম্বকের ন্যায় দুই মেরুর উদ্ভব হয়। সলিনয়েড ঐ অবস্থায় একটি দণ্ড চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে। তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফলের জন্যই এইরূপ হয়।

এখন যদি একটি কাঁচা লোহার দণ্ডকে ঐ সলিনয়েডের ভিতর ঢুকানো যায় এবং সলিনয়েড দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো যায় তবে দেখা যায়, দণ্ড শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। ইহার কারণ, সলিনয়েড কুণ্ডলীর ভিতর তড়িৎপ্রবাহ যাইবার ফলে যে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তাহা ঐ লৌহদণ্ডকে শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করে। এই প্রকার চুম্বকের নাম **তড়িৎ-চুম্বক** (Electro-magnet)।

তড়িৎ-চুম্বক
চিত্র নং 37

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে যে-সমস্ত তড়িৎ-চুম্বক কাজে লাগানো হয় তাহা U-অক্ষরের ন্যায় বাঁকানো থাকে (37 নং চিত্র)। ইহার গায়ে অন্তরিত তার জড়ানো থাকে। আকার বক্র হওয়ায় চুম্বকের শক্তি আরও বৃদ্ধি পায়।

তড়িৎ-চুম্বকের সুবিধা এই যে, তড়িৎপ্রবাহ যতক্ষণ চলিবে ততক্ষণ ইহার চুম্বকত্ব থাকিবে। তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইলে ইহার চুম্বকত্ব অন্তর্হিত হইবে। তাহা ছাড়া তারের পাকের (turn) সংখ্যা বাড়াইয়া বা তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বাড়াইয়া চুম্বকের শক্তি ইচ্ছামত বৃদ্ধি করা যায়।

নিম্নে তড়িৎ-চুম্বকের কয়েকটি প্রয়োজনীয় ব্যবহার উল্লেখ করা হইল ঃ

(a) বৈদ্যুতিক ঘন্টা, বৈদ্যুতিক পাখা, রিলে (relay) প্রণালী, মোটর, ডায়নামো প্রভৃতি বৈদ্যুতিক যন্ত্রে ইহার ব্যবহার আছে।

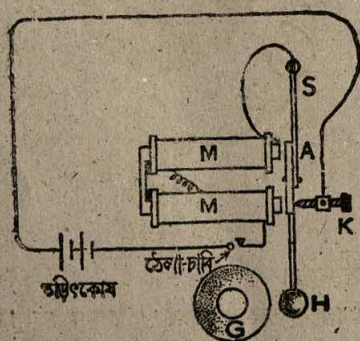
(b) কারখানায় খুব ভারী লোহার জিনিস তুলিতে বা নাড়াইতে অথবা বৃহৎ লৌহখণ্ডকে উঁচুতে তুলিয়া পরে মাটিতে ফেলিয়া ভাঙ্গিবার জন্য তড়িৎচুম্বক ব্যবহার করা হয়।

(c) কতকগুলি অচৌম্বক পদার্থের সহিত লোহা মিশানো থাকিলে লোহাকে পৃথক্ করিবার জন্য তড়িৎ-চুম্বক ব্যবহৃত হয়।

(d) চোখে লোহার কুচি পড়িলে চিকিৎসকগণ তড়িৎ-চুম্বকের সাহায্যে উহা চোখ হইতে বাহির করিয়া ফেলেন।

(iv) **বৈদ্যুতিক ঘন্টা** (Electric bell) ঃ

বিবরণ ঃ M একটি অশ্বখুরাকৃতি তড়িৎ-চুম্বক। চুম্বকের মেরুদ্বয়ের সম্মুখে A একটি কাঁচা লোহার তৈয়ারী আর্মেচার (armature)। আর্মেচারের উপর প্রান্ত একটা স্প্রীং S-এর সহিত এবং নিম্ন প্রান্ত একটি হাতুড়ি H-এর সহিত যুক্ত। সাধারণ অবস্থায় আর্মেচার A একটি স্ক্রু-K স্পর্শ করিয়া থাকে। একটি তড়িৎ-কোষের একপ্রান্ত এই স্ক্রু K-এর সহিত যুক্ত এবং অপর প্রান্ত একটি ঠেলা চাবির (bell-push) ভিতর দিয়া তড়িৎ-চুম্বকের সহিত যুক্ত। ঠেলা-চাবি চাপিয়া ধরিলে বর্তনী-সংহত (closed) হইবে। 38 নং চিত্রে বৈদ্যুতিক ঘন্টার তড়িৎসংযোগ ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে।

কার্যপ্রণালী ঃ ঠেলা-চাবি চাপিয়া ধরিলে তড়িৎকোষ হইতে তড়িৎ-প্রবাহ স্ক্রু K, আর্মেচার A, এবং স্প্রীং-S বাহিয়া তড়িৎ-চুম্বকে প্রবেশ করিবে এবং পুনরায় তড়িৎকোষে ফিরিয়া আসিবে। ফলে, তড়িৎ-চুম্বক চুম্বকীয় আকর্ষণ গুণ পাইবে ও কাঁচা লোহার তৈয়ারী আর্মেচার A-কে নিজের দিকে আকর্ষণ করিবে। ইহার দরুন হাতুড়ী H ঘন্টা G-এর উপর আঘাত করিয়া শব্দ সৃষ্টি করিবে। কিন্তু যেই আর্মেচার A টান খাইয়া তড়িৎ-চুম্বকের দিকে সরিয়া যাইবে, সঙ্গে সঙ্গে স্ক্রুর সহিত ইহার সংযোগ বিচ্ছিন্ন হইবে। ইহাতে বর্তনী ছিন্ন হইয়া তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইবে। তখন

বৈদ্যুতিক ঘন্টা
চিত্র নং 38

তড়িৎ-চুম্বকের আকর্ষণী শক্তি অন্তর্হিত হইবে এবং স্প্রীং-S পুনরায় A আর্মেচারকে ঠেলিয়া স্ক্রু K-র সহিত সংযোগ ঘটাইবে।

এইভাবে যতক্ষণ চাবি টিপিয়া রাখা হইবে ততক্ষণ পর্যায়ক্রমে বর্তনী একবার সংহত হইবে এবং পরক্ষণেই ছিন্ন হইবে। ইহার ফলে হাতুড়ি বার বার ঘন্টাকে আঘাত করিবে এবং ক্রিং ক্রিং শব্দ উৎপন্ন করিবে।

(খ) তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া

(Action of magnet on current)

3-4. চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িদ্‌বাহী তারের গতি ঃ

পূর্বে বলা হইয়াছে, তড়িৎপ্রবাহযুক্ত তার উহার চতুর্দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সুতরাং ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর কোন চুম্বক-মেরু থাকিলে তাহার উপর একটি আকর্ষণ বা বিকর্ষণজনিত বল ক্রিয়া করিবে। আমরা জানি, প্রত্যেক ক্রিয়ারই একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া (reaction) থাকে। এই নিয়মানুযায়ী উক্ত চুম্বক মেরুও তারের উপর একটি বল-প্রয়োগ করিবে যাহার ফলে তার মেরুর প্রতি আকৃষ্ট বা বিকৃষ্ট হইবে। ইহাই তড়িৎ-প্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া। ধরা যাক AB একটি ঋজু (straight) পরিবাহী যাহার ভিতর দিয়া নিম্নাভিমুখী তড়িৎপ্রবাহ চলিতেছে। ইহার ফলে যে-চৌম্বক বলরেখার সৃষ্টি হইবে তাহার দিকনির্দেশ 39 নং চিত্রে বৃত্তাকার রেখাদ্বারা দেখান হইল। সুতরাং P বিন্দুতে রক্ষিত একটি N-মেরু PR

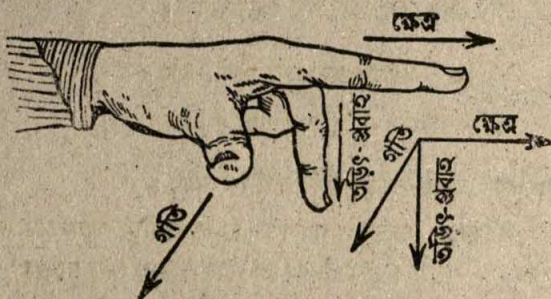
তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া
চিত্র নং 39

অভিমুখে চালিত হইবে। যেহেতু প্রতিক্রিয়া ক্রিয়ার বিপরীত, সেইহেতু N-মেরু যদি P বিন্দুতে স্থির থাকে এবং AB তার সঞ্চরণশীল (movable) হয় তবে উক্ত তার OX অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হইবে। যদি তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দেওয়া যায় তবে তারও বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে।

3-5. তারের গতির অভিমুখ নির্ণয় ঃ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম (Fleming's left-hand rule) ঃ

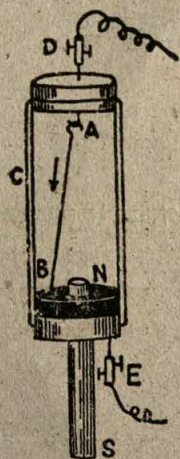
তড়িৎপ্রবাহের দিক্ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক্ অনুযায়ী পরিবাহী তার কোন্‌দিকে

বিক্ষিপ্ত হইবে তাহা ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম হইতে বোঝা যায়। নিয়মটি নিম্নরূপ ঃ

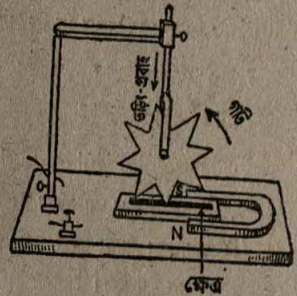
বাম হস্তের প্রথম তিনটি আঙ্গুল পরস্পরের সহিত সমকোণে রাখিয়া প্রসারিত কর। যদি তর্জনী (fore finger) চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক্ নির্দেশ করে এবং

ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম
চিত্র নং 40

মধ্যমা (middle finger) তড়িৎপ্রবাহের দিক্-নির্দেশ করে তবে বৃদ্ধাঙ্গুলী (thumb) তারের গতির অভিমুখ নির্দেশ করিবে (40 নং চিত্র)।

3-6. তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া প্রদর্শনের পরীক্ষা ঃ

(1) **ফ্যারাডের পরীক্ষা ঃ** C একটি কাচের চোঙ্। ইহার দুই মুখ কর্ক দ্বারা বন্ধ। AB একটি তামার তার। তারটির উপর প্রান্ত (A) একটি হুকের সঙ্গে আটকানো এবং নিম্নপ্রান্ত (B) খানিকটা পারদের ভিতর ডুবানো। N-S. একটি চুম্বক। ইহার N-মেরু উর্ধ্বমুখী এবং পারদের মধ্য দিয়া চোঙের ভিতর ঢুকানো। দুইটি বন্ধনীর (D ও E) সাহায্যে তড়িৎ-কোষ হইতে AB তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইবার ব্যবস্থা আছে (41 নং চিত্র)।

চিত্র নং 41

যখন AB তারে কোন তড়িৎপ্রবাহ থাকে না তখন তার স্থির হইয়া থাকিবে। কিন্তু যেই তার দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হইবে তখন দেখা যাইবে, তার N-মেরুর চতুর্দিকে বৃত্তাকারে ঘুরিতেছে। এস্থলে N-মেরু কর্তৃক সৃষ্ট চৌম্বক-ক্ষেত্র সর্বদা তারের সহিত অভিলম্ব হওয়ায় তড়িৎবাহী তার যে-বল অনুভব করে তাহা তারকে বৃত্তাকার পথে চালিত করে। তারের গতির অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত হইতে নির্ণয় করা যায়।

(2) **বার্লো চক্র** (Barlow's wheel) ঃ ইহা কয়েকটি দাঁতবিশিষ্ট তারকাকৃতি পাতলা তামার চক্র। একটি অনুভমিক অক্ষের চতুর্দিকে এই চক্র ঘুরিতে পারে। যন্ত্রের কাঠের পাটাতনের উপর একটি সরু লম্বা গর্তের ভিতর কিছু পারদ রাখা থাকে। চক্র ঘুরিবার সময় পর্যায়ক্রমে এক একটি দাঁত এই পারদ স্পর্শ করে। এই গর্ত একটি শক্তিশালী অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের মেরু-দ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত। দুইটি বন্ধনীর সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ চক্র ও পারদের ভিতর দিয়া তড়িৎকোষে ফিরিয়া যাইতে পারে (42 নং চিত্র)।

বার্লোচক্র
চিত্র নং 42

যদি চক্র দিয়া তড়িৎপ্রবাহ উপর হইতে নীচু দিকে যায় তবে চিত্রে প্রদর্শিত তীরচিহ্নের দিকে চক্র ঘুরিতে শুরু করিবে। যেই একটি দাঁত পারদ হইতে উঠিয়া আসিবে গতিজাড্যের (inertia of motion) জন্য পরবর্তী দাঁত আসিয়া পারদ স্পর্শ করিবে এবং তড়িৎপ্রবাহ বজায় রাখিবে। যতক্ষণ পর্যন্ত তড়িৎপ্রবাহ চলিবে ততক্ষণ চক্র প্রবলবেগে ঘুরিতে থাকিবে। যদি চক্র দিয়া তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টা হয় অর্থাৎ নীচু হইতে উপর দিকে হয় তবে চক্র উল্টা দিকে ঘুরিবে।

প্রশ্নাবলী

1. একটি ছোট চুম্বক শলাকা একটি খাড়া স্তম্ভের উপর রাখা আছে। একটি তড়িৎবাহী তার যদি শলাকা বরাবর রাখা যায় তবে শলাকা কোন্ অবস্থায় থাকিবে? নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে শলাকার কি পরিবর্তন দেখা যাইবে?

(i) তার শলাকার উপরে, (ii) তার শলাকার নীচে, (iii) তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টা করা হইলে। [*Cf. H. S. Exam., 1961*]

2. চুম্বকের উপরে তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া পরীক্ষামূলকভাবে কিরূপে প্রমাণ করিবে? চুম্বকের বিক্ষেপের নিয়মগুলি ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam., 1980, '84*]

3. তড়িৎ-চুম্বক কাহাকে বলে? তড়িৎ-চুম্বক বর্ণনা কর। প্রাকৃতিক চুম্বক বা কৃত্রিম চুম্বকের সহিত তড়িৎ-চুম্বকের পার্থক্য কি?

4. একটি তড়িৎ-চুম্বক গঠনের পদ্ধতি বর্ণনা কর। যদি তড়িৎ-চুম্বকের বিশেষ এক

মুখে N-মেরু উৎপন্ন করিতে হয় তবে কুণ্ডলী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ কোন্ দিকে যাইবে তাহা ছবি আঁকিয়া দেখাও। কৃত্রিম চুম্বক হইতে ইহার পার্থক্য কি?

5. বৈদ্যুতিক ঘন্টার বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[*M. Exam., 1979, '83, '84 ; H. S. Exam., 1961*]

6. তড়িৎবাহী তার চৌম্বকক্ষেত্রে রাখিলে বিক্ষিপ্ত হয় তাহা কয়েকটি পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও। বিক্ষেপের অভিমুখ নির্ণয়ের জন্য প্রয়োজনীয় নিয়ম কি?

7. বার্লোচক্র বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ইহার একটি ছবি আঁক। ইহার দ্বারা কি বুঝা যায়?

8. গ্যালভানোমিটার দ্বারা কিভাবে তড়িৎ-প্রবাহ মাপা যায়? [*M. Exam., 1983*]

9. বার্লোচক্রের আবর্তনে নিম্নলিখিত বিষয়গুলির ফলাফল কি হইবে ঃ

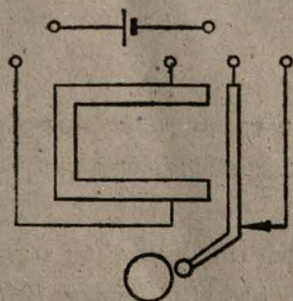
(i) প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি করিলে, (ii) চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য বৃদ্ধি করিলে, (iii) চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করিলে।

10. সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও ঃ (ক) বৈদ্যুতিক ঘন্টা [*M. Exam., 1981*] (খ) বার্লোচক্র [*M. Exam., 1979, '81, '83*] (গ) তড়িৎ-চুম্বক [*M. Exam., 1980*]

11. একটি তড়িৎ-চুম্বকের গঠন প্রণালী বর্ণনা কর। [*M. Exam., 1980*]

12. তড়িৎ-চুম্বক কি? ইহার ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর। [*M. Exam., 1985*]

13. একটি তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে কি ঘটিবে? একটি বার্লোচক্রের কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। [*M. Exam., 1986*]

14. একটি নরম লোহার দণ্ড দ্বারা তুমি একটি তড়িৎ-চুম্বক তৈরী করিবে। প্রক্রিয়াটিকে বুঝাইবার জন্য একটি চিত্র আঁক। ঐ চিত্রে একটি কোষ, অন্তরিত তামার তারের কুণ্ডলী, নরম লোহার দণ্ড এবং একটি সুইচ দেখাইতে হইবে। তড়িৎচুম্বকের মেরুদ্বয় নির্দেশ কর।

চিত্র 42(a)

15. তড়িৎ-চুম্বক সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের শক্তি বৃদ্ধি করার চারটি উপায় বিবৃত কর।

16. 42(a) নং চিত্রে একটি বৈদ্যুতিক ঘন্টার অসম্পূর্ণ চিত্র দেখানো হইয়াছে। ঐ চিত্র সম্পূর্ণ কর এবং বিভিন্ন অংশের নাম লেখ।

Objective type :

17. তিনটি বিকল্প হইতে একটি পছন্দ করিয়া নিম্নলিখিত অসম্পূর্ণ উক্তিগুলি সম্পূর্ণ কর ঃ

(a) অশ্বখুর ধরনের তড়িৎ-চুম্বকের দুই বাহুতে যে তার জড়ানো থাকে তাহারা (i) সমমুখী, (ii) বিপরীত মুখী, (iii) না সমমুখী; না বিপরীত মুখী।

(b) ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার যন্ত্রের নীতি হইল (i) তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া, (ii) চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া, (iii) তড়িৎপ্রবাহের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া।

(c) বার্লোচক্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে, ঘূর্ণনের অভিমুখ (i) উল্টায় না, (ii) উল্টায়, (iii) ঘূর্ণন বন্ধ হয়।

(d) অ্যাম্পীয়ারের সন্তরণ সূত্র প্রয়োগ করা হয় (i) তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া সম্পর্কে, (ii) চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া সম্পর্কে, (iii) তড়িৎপ্রবাহের উপর তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়া সম্পর্কে।

(e) গ্যালভ্যানোস্কোপ এমন একটি যন্ত্র যাহা দিয়া বোঝা যায় (i) তড়িৎ আধানের উপস্থিতি, (ii) বিভব-প্রভেদের উপস্থিতি, (iii) তড়িৎপ্রবাহের উপস্থিতি।

18. উপযুক্ত শব্দ দ্বারা শূন্যস্থান পূরণ কর ঃ

(a) তড়িৎচুম্বক তৈরী করিতে সাধারণত — দণ্ড ব্যবহার করা হয়।

(b) বৈদ্যুতিক ঘন্টা — একটি সাধারণ প্রয়োগ।

(c) বার্লোচক্র — উপর — ক্রিয়া প্রদর্শণ করে।

(d) বার্লোচক্রে — শক্তি — শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(e) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী পরিবাহীর বিক্ষেপ অভিমুখ পাইতে গেলে ফ্লেমিং-এর — হস্ত নিয়ম প্রয়োগ করিতে হইবে।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল
(Heating effect of electric current)

4-1. সূচনা ঃ

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে তড়িৎপ্রবাহের বিভিন্ন ফল উল্লেখ করিবার সময় বলা হইয়াছে, কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া যখন তড়িৎপ্রবাহ হয় তখন পরিবাহী উত্তপ্ত হইয়া পড়ে। ইহাকে তড়িৎপ্রবাহের তাপীর ফল বলা হয়। তড়িৎ-প্রবাহের এই তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ দ্বারা বহু প্রয়োজনীয় কার্য সম্পাদন করা হয়। বিজলী বাতি হইতে আমরা যে আলো পাই, বৈদ্যুতিক হিটার ও স্টোভ হইতে যে তাপ উদ্ভূত হয়, তাহা তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের গার্হস্থ্য প্রয়োগ। আবার বৈদ্যুতিক আর্ক বা আর্ক-ওয়েল্ডিং (arc-welding), বৈদ্যুতিক ফার্নেস প্রভৃতি তাপীয় ফলের শিল্পক্ষেত্রে প্রয়োগের দৃষ্টান্ত। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে যে তাপের উদ্ভব হয় সেই সংক্রান্ত সূত্র (law) সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন ডাঃ জুল 1841 খ্রীষ্টাব্দে। তাঁহার নামানুসারে এই সূত্রকে জুল সূত্র বলা হয়।

4-2. জুল সূত্র (Joule's law) ঃ

'R' রোধযুক্ত পরিবাহীতে যদি 't' সময় ধরিয়া 'I' তড়িৎপ্রবাহ প্রবাহিত হয় তবে জুল সূত্রকে নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যাইতে পারে ঃ—

(i) **রোধ ও সময় অপরিবর্তিত থাকিলে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহ-মাত্রার (I) বর্গের সমানুপাতিক হয় ;** অর্থাৎ $H \propto I^2$ যদি R ও t ধ্রুবক হয়।

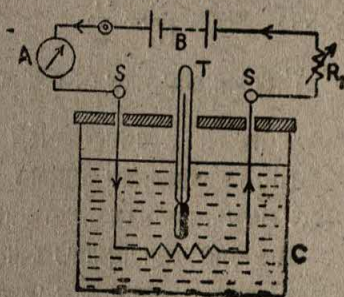
(ii) **প্রবাহ-মাত্রা ও সময় অপরিবর্তিত থাকিলে উদ্ভূত তাপ রোধের সমানুপাতিক হয় ;** অর্থাৎ $H \propto R$ যদি I ও t ধ্রুবক হয়।

(iii) **রোধ ও প্রবাহ-মাত্রা অপরিবর্তিত থাকিলে উদ্ভূত তাপ সময়ের সমানুপাতিক হয় ;** অর্থাৎ $H \propto t$ যদি I ও R ধ্রুবক হয়।

4-3. জুল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা (Verification of Joule's law) ঃ

জুল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষার জন্য 43 নং চিত্র অনুযায়ী ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে।

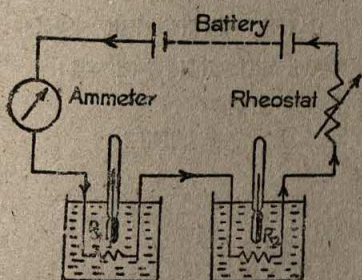
(i) **প্রথম সূত্রের পরীক্ষা ঃ** C একটি আংশিক জলপূর্ণ ক্যালরিমিটার। উহার উপরে কয়েকটি ছিদ্রযুক্ত একটি এবোনাইটের ঢাকনা আছে। জলের মধ্যে একটি তারকুণ্ডলী ডুবানো আছে এবং কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুইটি বন্ধনীর (S, S) সহিত যুক্ত। একটি ব্যাটারী B, একটি প্রবাহমাত্রামাপক অ্যাম্মিটার

(A) ও একটি রিওস্ট্যাট (R) তারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত। উদ্ভূত তাপ তড়িৎ প্রবাহে বর্গের (I^2) সমানুপাতিক দেখাইতে হইলে রিওস্ট্যাট দ্বারা নিয়ন্ত্রিত কোন তড়িৎপ্রবাহ তার দিয়া পাঠাও। ধর, ইহা I_1 অ্যাম্পীয়ার ; নির্দিষ্ট সময় (ধর, 10 মিনিট) ধরিয়া প্রবাহ পাঠাইবার ফলে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি থার্মোমিটার T হইতে লক্ষ্য কর। ধর, এই তাপমাত্রা-বৃদ্ধি T_1°C. এইবার প্রবাহ বন্ধ করিয়া জলকে আবার ঘরের তাপমাত্রায় আসিতে দাও।

চিত্র নং 43

অতঃপর রিওস্ট্যাট দ্বারা প্রবাহমাত্রা বদলাও। ধর, এই প্রবাহমাত্রা I_2। ইহাকে পূর্বোক্ত নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া তারের ভিতর দিয়া পাঠাবার ফলে জলের যে তাপমাত্রাবৃদ্ধি হয়, তাহা লক্ষ্য কর। ধর, ইহা T_2°C ; জলের পরিমাণ ও ক্যালরিমিটারের ভর অপরিবর্তিত থাকায় দুই ক্ষেত্রে উদ্ভূত তাপ উষ্ণতা বৃদ্ধির সমানুপাতিক হইবে। উদ্ভূত তাপ যদি H_1 এবং H_2 ক্যালরি ধরা যায় তবে, $\frac{H_1}{H_2}=\frac{T_1}{T_2}$

পরীক্ষার ফলে দেখা যাইবে, $\frac{T_1}{T_2}=\frac{I_1^2}{I_2^2}$; সুতরাং $\frac{H_1}{H_2}=\frac{I_1^2}{I_2^2}$

অর্থাৎ, $H \propto I^2$ যখন R ও t ধ্রুবক।

(ii) **দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষা ঃ** উদ্ভূত তাপ রোধের সমানুপাতিক দেখাইতে হইলে একই ভর এবং একই উপাদানের দুইটি ক্যালরিমিটারে সমপরিমাণ জল রাখিয়া R_1 এবং R_2 রোধযুক্ত দুইটি রোধকুণ্ডলী উহার ভিতর ডুবাও। 44 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ তড়িৎ সংযোগ ব্যবস্থা কর। R_1 এবং R_2 শ্রেণী সমবায়ে থাকায় একই তড়িৎ প্রবাহ দুইটি তারে প্রবাহিত হইবে। রিওস্ট্যাট নিয়ন্ত্রিত করিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ পাঠাও। কোন নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে ক্যালরিমিটার দুইটিতে

চিত্র নং 44

জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইবে। উহা থার্মোমিটার দ্বারা পাঠ কর। মনে কর, তাপমাত্রাবৃদ্ধি T_1°C এবং T_2°C; উভয় ক্যালরিমিটারের ভর ও উহাদের জলের পরিমাণ সমান হওয়ায় উদ্ভূত তাপ H_1 ও H_2 উষ্ণতা বৃদ্ধির সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ $\frac{H_1}{H_2}=\frac{T_1}{T_2}$

কিন্তু পরীক্ষার ফলে দেখা যাইবে, $\frac{R_1}{R_2}=\frac{T_1}{T_2}$; সুতরাং $\frac{H_1}{H_2}=\frac{R_1}{R_2}$

অর্থাৎ $H \propto R$ যখন I এবং t ধ্রুবক।

(iii) **তৃতীয় সূত্রের পরীক্ষা ঃ** উদ্ভূত তাপ সময়ের সমানুপাতিক দেখাইতে হইলে প্রথম পরীক্ষায় যে ব্যবস্থা করা হইয়াছিল তাহা করিতে হইবে [চিত্র নং 43]। রিওস্ট্যাট দ্বারা নিয়ন্ত্রিত কোন নির্দিষ্ট প্রবাহ t_1 সেকেণ্ড ধরিয়া তারের ভিতর পাঠাও। ইহার ফলে জলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি ধর, T_1°C হইল। প্রবাহ বন্ধ করিয়া জল ও ক্যালরিমিটারকে ঘরের তাপমাত্রায় আসিতে দাও। পুনরায় উক্ত প্রবাহকে ভিন্ন সময় ধরিয়া—ধর, t_2 সেকেণ্ড—তারের ভিতর পাঠাও। পুনরায় জলের উষ্ণতাবৃদ্ধি লক্ষ্য কর। মনে কর, ইহা T_2°C; আমরা জানি, দুই ক্ষেত্রে উদ্ভূত তাপ H_1 এবং H_2 হইলে, $\frac{H_1}{H_2}=\frac{T_1}{T_2}$;

পরীক্ষার ফলে দেখা যাইবে $\frac{T_1}{T_2}=\frac{t_1}{t_2}$; কাজেই $\frac{H_1}{H_2}=\frac{t_1}{t_2}$ অর্থাৎ $H \propto t$ যখন I ও R ধ্রুবক।

উদাহরণ ঃ (1) 10 ohm পরিবাহীর ভিতর দিয়া 0·8 amp তড়িৎ-প্রবাহ 1 মিনিট ব্যাপী স্থায়ী হইলে, কত তাপ উৎপন্ন হইবে?

উ। আমরা জানি, $H=0{\cdot}24.I^2.R.t$ ক্যালরি; এখানে, $I=0{\cdot}8$ amp; $R=10$ ohm; $t=1$ mnt$=60$ sec.

$\therefore\ H=0{\cdot}24\times(0{\cdot}8)^2\times10\times60$ ক্যালরি$=92{\cdot}16$ ক্যালরি।

(2) 10 ohm তারকুণ্ডলীর ভিতর 10 মিনিট ব্যাপী তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইয়া যে তাপ উৎপন্ন হইল তাহা সম্পূর্ণভাবে 100 gm জলে সরবরাহ করা হইল। জলের উষ্ণতা 15°C হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 75°C হইলে, প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

উ। এখানে উৎপন্ন তাপ H=জলের ভর×উষ্ণতাবৃদ্ধি

$=100\times(75-15)=6000$ ক্যালরি

আবার আমরা জানি, $H=0{\cdot}24\times I^2\times R\times t$

$\therefore\ 6000=0{\cdot}24\times I^2\times10\times10\times60$

অথবা, $I^2=\frac{6000}{0{\cdot}24\times10\times60\times10}=\frac{100}{24}$

,, $I=\sqrt{\frac{100}{24}}=2{\cdot}04$ amp (প্রায়)।

(3) একটি বর্তনীতে একটি 2·0 volt-এর কোষ, একটি 100 ওহমের রোধ ও একটি অজানা মানের রোধ শ্রেণী সজ্জায় থাকিলে বর্তনীতে 0·01 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ চলিতে থাকে। কোষটির কোন অভ্যন্তরীণ রোধ নাই ধরিয়া অজানা রোধটির মান নির্ণয় কর। এই অবস্থায় বর্তনীতে কি হারে শক্তি রূপান্তরিত হইতেছে? [*M. Exam., 1988*]

উ। (i) ধর R হইল অজানা রোধ। বর্তনীর মোট রোধ=(R+100) ohm ; বর্তনীর মোট তড়িচ্চালক বল=2 volt ; বর্তনীর প্রবাহমাত্রা=0·01 amp.

ওহম সূত্রানুযায়ী, $\text{প্রবাহমাত্রা}=\dfrac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{,, রোধ}}$

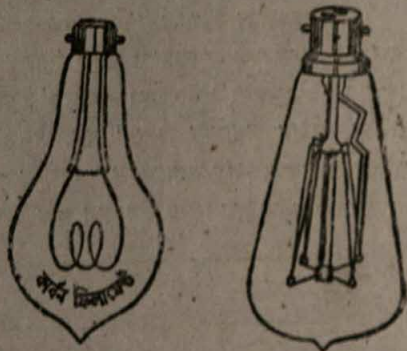
অথবা, $0{\cdot}01=\dfrac{2}{R+100}$ অথবা, $0{\cdot}01R+1=2$

$\therefore \quad R=\dfrac{1}{0{\cdot}01}=100$ ohm.

(ii) শক্তি রূপান্তরের হার $=I^2\times(R+100)$ watt
$=(0{\cdot}01)^2\times200$ watt
$=0{\cdot}02$watt.

4-4. তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ

(1) **বৈদ্যুতিক আলো ঃ** তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের সর্বপ্রধান প্রয়োগ হইল আলোর সৃষ্টি। বহুপূর্ব হইতে আজ পর্যন্ত বৈদ্যুতিক আর্ক, বায়ুশূন্য বিজলী বাল্‌ব, গ্যাসভর্তি বিজলী বাল্‌ব প্রভৃতি নানাপ্রকার আলোসৃষ্টিকারী বৈদ্যুতিক উপায় উদ্ভাবিত হইয়াছে।

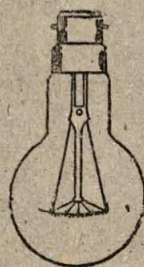
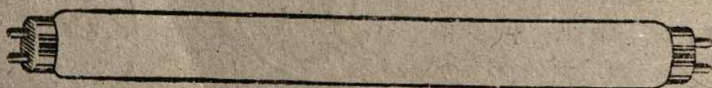
একটি বায়ুশূন্য কাচের গোলকের ভিতর কার্বন ফিলা-মেন্ট ঢুকাইয়া সর্বপ্রথম বৈদ্যুতিক বাল্‌ব তৈয়ারী করা হয়। 1880 খ্রীষ্টাব্দে আমেরিকার বিখ্যাত আবিষ্কারক এডিসন ও ইংরাজ বিজ্ঞানী সোয়ান কর্তৃক ইহা আবিষ্কৃত হয়। এজন্য ইহাকে Ediswan ল্যাম্প বলা হইত (চিত্র নং 45)। কিন্তু এই বাতির একটি ত্রুটি এই যে ইহার আলো ঠিক সাদা নয়—একটু হলদে ধরনের। তাছাড়া এই বাতি হইতে যে-আলো নির্গত হয় তাহা সবদা কাঁপে এবং উহার উজ্জ্বলতাও খুব বেশী নয়।

কার্বন ফিলামেন্ট বাতি টাংস্টেন ফিলামেন্ট বাতি
চিত্র নং 45

এই অসুবিধা দূর করিবার চেষ্টা করিয়া পরবর্তীকালে যে বাতির উদ্ভাবন করা হইল তাহাকে টাংস্টেন ফিলামেন্ট বাতি বলা হয় (45 নং চিত্র)। এই বাতিতেও একটি বায়ুশূন্য কাচের গোলক লইয়া উহার ভিতর টাংস্টেনের লম্বা সরু তার ঢুকানো থাকে। ইহাই বাতির ফিলামেন্ট। এই বাতির উজ্জ্বলতা পূর্বের বাতি অপেক্ষা অনেক বেশী এবং আলোও কম্পমান নয়---কিন্তু তাহা সত্ত্বেও ইহার কয়েকটি ত্রুটি আছে। প্রথমত, উত্তপ্ত হইয়া টাংস্টেন বাষ্পীভূত হয় এবং গোলকের গায়ে জমিয়া কাচে কালো দাগ ফেলে। ইহাতে বাতির উজ্জ্বলতা ক্রমশ কমিয়া আসে। দ্বিতীয়ত, বাষ্পীভূত হইবার ফলে টাংস্টেন ফিলামেন্ট সরু হইয়া যায় বলিয়া ইহা বেশী দিন টেঁকে না।

কুণ্ডলীত তার
চিত্র নং 46

সর্বাধুনিক বিজলীবাতিতে কাচের গোলকটি বায়ুশূন্য করা হয় না। ইহাতে নিষ্ক্রিয় (inert) গ্যাস, যেমন---আরগন্ ইত্যাদি ভর্তি থাকে। গোলকের ভিতর একটি কুণ্ডলিত (coiled coil) টাংস্টেন তার ফিলামেন্ট হিসাবে ব্যবহৃত হয় (চিত্র নং 46)। এই ফিলামেন্টের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ গেলে ইহার তাপমাত্রা প্রায় 2700°C হয় এবং ইহার ফলে উজ্জ্বল আলোর সৃষ্টি হয়। 47 নং চিত্রে এইরূপ একটি আধুনিক বাল্‌বের ছবি দেখানো হইল।

আধুনিক বিজলী বাতি
চিত্র নং 47

(2) **ফ্লুরেসেন্ট বাতি** (Fluorescent lamp) ঃ তোমরা অনেকেই আজকাল ফ্লুরেসেন্ট বাতি দেখিয়াছ। এই বাতি এখন বহু ব্যবহৃত হইতেছে। যদিও ইহা তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের সরাসরি প্রয়োগ নয়, তবুও বহুল প্রচলিত বলিয়া এ-সম্বন্ধে কিছু বলা হইল। ফ্লুরেসেন্ট বাতি হইতে যে আলো নির্গত হয় তাহা খুব কম ছায়া উৎপন্ন করে এবং

ফ্লুরেসেন্ট বাতি
চিত্র নং 48

চোখে ধাঁধাঁর (glare) সৃষ্টি করে না বলিয়া এই বাতি আজকাল ফ্যাক্টরী, হাসপাতাল, খনি, স্কুল, কলেজ প্রভৃতি স্থানে ব্যবহৃত হইতেছে। তাছাড়া অনেকে বাড়িতেও এই আলো ব্যবহার করিতে শুরু করিয়াছেন, কারণ, এই বাতি হইতে

প্রায় দিনের আলোর মত আলো নির্গত হয় এবং ইহা বৈদ্যুতিক বাল্‌ব অপেক্ষা বেশী দিন টেঁকে। বড় বড় শহরে রাস্তা আলোকিত করার জন্যও ফ্লুরেসেন্ট বাতি ব্যবহৃত হয়।

48 নং চিত্রে একটি ফ্লুরেসেন্ট বাতির আকৃতি দেখানো হইয়াছে। ইহা আকারে একটি লম্বা কাচের নল। এই নলের ভিতরের দিকের দেওয়ালে ফ্লুরেসেন্ট রংয়ের প্রলেপ দেওয়া থাকে। নলের ভিতর কিছু পারদ রাখিয়া ইহার দুই মুখ বন্ধ করিয়া দেওয়া হয় এবং দুইটি তড়িৎ-দ্বার (electrodes) দুই মুখ দিয়া ঢুকাইয়া দেওয়া হয়। নলের ভিতরের বায়ু-চাপ (air-pressure) খুব কম রাখা হয়। যখন বাতির তড়িৎদ্বার দুইটির সহিত তড়িৎ-প্রবাহের প্লাগের সংযোগ করা হয়, তখন বাতির অভ্যন্তরস্থ পারদ-বাষ্পের ভিতর তড়িৎ মোক্ষণ (electric discharge) শুরু হয় এবং তাহার ফলে আলোর উৎপত্তি হয়। বিভিন্ন প্রকার ফ্লুরেসেন্ট রংয়ের প্রলেপ এই আলো-কে নানা বর্ণের আলোতে পরিণত করে।

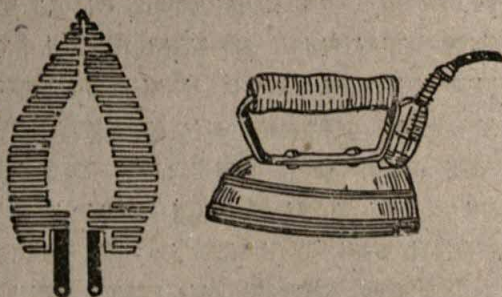
সাধারণত বৈদ্যুতিক বাল্‌ব হইতে যে পরিমাণ আলো নির্গত হয় ফ্লুরেসেন্ট বাতি হইতে তাহার তিন গুণ আলো পাওয়া যায়। তাছাড়া একটি বৈদ্যুতিক বাল্‌ব প্রায় 1000 ঘন্টা আলো দিতে পারে কিন্তু ফ্লুরেসেন্ট বাতি প্রায় 3000 ঘন্টা আলো দেয়। এইসব কারণে আজকাল ফ্লুরেসেন্ট বাতির প্রচলন খুব বৃদ্ধি পাইয়াছে।

(3) **বৈদ্যুতিক স্টোভ, হিটার, কেট্‌লি প্রভৃতি ঃ** পরিবাহীতে তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপদ্বারা বৈদ্যুতিক হিটার, কেট্‌লি, ইস্তিরি প্রভৃতি নানারকম নিত্য প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি নির্মিত হয়। এই যন্ত্রগুলি সাধারণত কোন তাপ-সহ দ্রব্য, যেমন ফায়ার ক্লে (fire clay) ইত্যাদির একটি ফ্রেমের উপর নাইক্রোম (নিকেল, লোহা ও ক্রোমিয়াম-মিশ্রিত ধাতু-সংকর) ধাতুর তার জড়াইয়া তৈরী করা হয়।

যখন এই যন্ত্রটি বৈদ্যুতিক প্লাগের সহিত যুক্ত করা হয় তখন পরিবাহী কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলে এবং উহা উত্তপ্ত হইয়া পড়ে। এই উত্তাপ রান্না, জল গরম করা ইত্যাদি কাজে প্রয়োগ করা হয়।

বৈদ্যুতিক ইস্তিরি তৈরী করিবার সময় পরিবাহী কুণ্ডলীকে একটি লোহার আবরণের মধ্যে রাখা হয়। যখন কুণ্ডলী উত্তপ্ত হইয়া উঠে তখন লোহার আবরণও উত্তপ্ত হয় এবং তাহা দিয়া কাপড়, জামা ইত্যাদি ইস্তিরি করা হয়। পরিবাহীর সহিত লোহার সংযোগ ঘটিলে **'শক্'** লাগিবার সম্ভাবনা থাকে। ইহা নিবারণের জন্য কুণ্ডলীকে দুইটি অভ্রের চাদর দিয়া জড়ানো হয়। অভ্রের চাদর লোহার সহিত কুণ্ডলীর বৈদ্যুতিক সংযোগ ঘটিতে দেয় না। কোন কারণে

এই চাদর কাটিয়া গেলে 'শক্' লাগিতে পারে। সে অবস্থায় ঐ ইস্তিরি ব্যবহার করা নিরাপদ নয়।

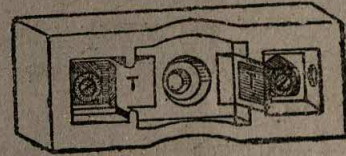
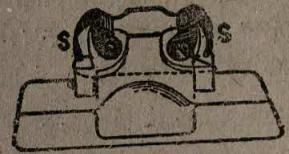
49 নং চিত্রে একটি বৈদ্যুতিক ইস্তিরির বিভিন্ন অংশ দেখানো হইয়াছে।

বৈদ্যুতিক ইস্তিরি
চিত্র নং 49

(4) **বৈদ্যুতিক ফিউজ** (Electric fuse)ঃ বাড়িতে বৈদ্যুতিক লাইনের সঙ্গে চিনামাটির বাক্সে রাখা একটি ছোট তার থাকে। ইহাকে 'ফিউজ তার' বলে। কোন কারণে বাড়িতে বৈদ্যুতিক প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পাইলে এই ফিউজ তার গলিয়া গিয়া বর্তনী ছিন্ন করে ও দুর্ঘটনা রোধ করে। সাধারণত যখন সুইচ টেপা হয় তখন তড়িৎপ্রবাহ পাখা, বাতি ইত্যাদি বহুরকম রোধের ভিতর দিয়া যায় বলিয়া প্রবাহমাত্রা কম থাকে। কিন্তু কোন কারণে যদি দুইটি লাইনের তার একসঙ্গে ঠেকিয়া যায় বা কোন সংযোগ ঘটে যাহাতে লাইনের রোধ কম হইয়া পড়ে (অর্থাৎ, যাহাকে বলা হয় 'short circuit', তাহা হয়) তখন লাইন দিয়া প্রবল তড়িৎপ্রবাহ যায়। তাহাতে যে তাপ সৃষ্টি হয় তাহা অগ্নিকাণ্ডের সৃষ্টি করিতে পারে।

এই বিপদ এড়াইবার জন্য 'ফিউজ্ তার' ব্যবহার করা হয়। টিন ও সীসা মিশ্রিত সংকর ধাতু (alloy) দিয়া এই তার তৈরী করা হয়। ইহার গলনাঙ্ক খুব কম। এই তার এমনভাবে বাছিয়া লওয়া হয় যে লাইন তার সর্বাপেক্ষা বেশী যে প্রবাহ-মাত্রা সহ্য করিতে পারে, এই তার উহার কম প্রবাহ-মাত্রাতে উত্তপ্ত হইয়া গলিয়া যায়; অথচ আলো, পাখা ইত্যাদির জন্য যে প্রবাহমাত্রা দরকার তাহা অপেক্ষা বেশী প্রবাহমাত্রা সহ্য করিতে পারে। সাধারণত আলো, পাখা ইত্যাদির জন্য 3 amp. প্রবাহমাত্রা দরকার। বাড়িতে যে লাইন তার দেওয়া থাকে উহা 6 amp. প্রবাহমাত্রা সহ্য করিতে পারে। এক্ষেত্রে ফিউজ-তার এমন লওয়া হয় যে উহা 5 amp. পর্যন্ত বহন করিতে সক্ষম। ইহাকে সাধারণত 5 amp. ফিউজ্ বলা হয়। যদি কখনও লাইনে short-circuit হয়

কিংবা কোন কারণে লাইন দিয়া 5 amp-এর বেশী প্রবাহমাত্রা চলে তাহা হইলে ফিউজ্ তার গলিয়া বর্তনী ছিন্ন করে এবং সঙ্গে সঙ্গে আলো নিভিয়া যায়। কিন্তু লাইন নষ্ট হইতে পারে না। আলো নিভিয়া গেলেই বুঝিতে হইবে লাইনে কোথাও কোন দোষ হইয়াছে। কাজেই ফিউজ-তারকে আমরা বলিতে পারি লাইনের ইচ্ছাকৃত এক দুর্বল স্থান যাহা মূল লাইন ভাঙ্গিয়া পড়িবার পূর্বে নিজেই ভাঙ্গিয়া যায়।

50 নং চিত্রে একটি ফিউজ-তার এবং 51 নং চিত্রে ঐ তার পরাইবার ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। তারটি একটি চিনামাটির (porcelain) বাক্সে আটকানো থাকে। তারের একপ্রান্ত একটি স্ক্রু র (S)-র সহিত আটকাইয়া উহার নিকটবর্তী

ফিউজ-তার ব্যবস্থা
চিত্র নং 50

ফিউজ্-তার পরাইবার ব্যবস্থা
চিত্র নং 51

একটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া গলাইয়া অপর প্রান্তের একটি ছিদ্র দিয়া বাহির করিয়া লইতে হয়। অতঃপর তারের ঐ প্রান্ত অপর একটি স্ক্রু (S) সহিত যুক্ত করিলে ফিউজ্ তার পরানো হইল। তারপর উহাকে একটি হোল্ডারের ভিতর (চিত্র নং 51-এর নীচের অংশ) চাপিয়া ঢুকাইয়া দিলে স্ক্রু দুইটির সহিত যুক্ত ধাতব স্প্রিং হোল্ডারের T-T ধাতব পাত দুইটির সহিত সংস্পর্শে আসিবে এবং ফিউজ্-তার আসল লাইনের সহিত যুক্ত হইয়া বর্তনী সংহত (closed) করিবে। তখন সুইচ টিপিলে লাইন দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলিবে।

4-5. তড়িৎ-ক্ষমতা ও শক্তি (Electrical power and energy) :

ক্ষমতা : বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ক্ষমতা **ওয়াট** (watt) নামক একটি এককে প্রকাশ করা হয়। 1 সেকেণ্ডে 1 জুল কার্য করিতে পারিলে সেই ক্ষমতাকে ওয়াট বলা হয়।

1 ওয়াট=1 জুল/সেকেণ্ড=10^7 আর্গ/সেকেণ্ড

মনে রাখা দরকার যে, **ওয়াট=অ্যাম্পীয়ার×ভোল্ট**

বড় বড় বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ক্ষমতা প্রকাশের জন্য সাধারণত বড় একক ব্যবহৃত হয়। এই বড় একককে কিলোওয়াট (kW) এবং মেগাওয়াট বলে।

1 kW=10^3 ওয়াট এবং 1 মেগাওয়াট=10^6 ওয়াট।

শক্তিঃ যদি 1 ওয়াট ক্ষমতা 1 সেকেণ্ড যাবৎ কার্য করে তবে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাকে জুল বলা হয়। অর্থাৎ জুল=ওয়াট×সেকেণ্ড।

আবার, 1 ওয়াট ক্ষমতা 1 ঘন্টা যাবৎ কার্য করিলে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাকে ওয়াট-ঘন্টা (watt hour) বলে। অর্থাৎ ওয়াট-ঘন্টা=ওয়াট×ঘন্টা।

বিদ্যুৎ সরবরাহ কোম্পানী বাড়িতে যে বিদ্যুৎ সরবরাহ করে তাহার পরিমাপ শক্তির একক অনুযায়ী করে। ইহাকে কিলো-ওয়াট ঘন্টা (kWh) বা **বোর্ড অফ ট্রেড একক** (B. O. T. unit) বলা হয়। মনে রাখিবে,

$$\text{বি. ও. টি. একক} = \frac{\text{ওয়াট ঘন্টা}}{1000} = \frac{\text{অ্যাম্পীয়ার} \times \text{ভোল্ট} \times \text{ঘন্টা}}{1000}$$

অনেক সময় বৈদ্যুতিক বাতির গায়ে ভোল্ট ও ওয়াট লেখা থাকে; যেমন 220 ভোল্ট 100 ওয়াট। একথার পূর্ণ অর্থ আমরা উল্লিখিত রাশিগুলি হইতে পাইতে পারি।

'220 ভোল্ট' লিখিবার অর্থ এই যে ঐ বাতি 220 ভোল্ট তড়িৎ উৎসের—যেমন মেইন্সের সহিত যুক্ত করিলে উহা সর্বোচ্চ উজ্জ্বলতা লইয়া আলো দিতে থাকিবে। '100 watt' কথার অর্থ এই যে বাতি প্রতি সেকেণ্ডে 100 watt তড়িৎক্ষমতা ব্যয় করে এবং যে তড়িৎপ্রবাহ লয় তাহা=$\frac{100}{220}$=0·45 amp. (প্রায়)।

উদাহরণ ঃ (1) 60 watt-এর একটি বাতিকে 5 ঘন্টা জ্বালানো হইল। বাতি কত শক্তি খরচ করিল তাহা B.O.T এককে নির্ধারণ কর।

উ। ব্যয়িত শক্তি=ওয়াট×ঘন্টা=60×5 ওয়াট-ঘটা=300 ওয়াট-ঘন্টা=$\frac{300}{1000}$=0·3 কিলোওয়াট-ঘন্টা

এখন, 1 B.O.T. একক=1 কিলোওয়াট-ঘন্টা

কাজেই বাতি কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি=0·3 B.O.T. একক।

(2) এক ব্যক্তি 40 watt-এর চারটি বাতি এবং 100 watt-এর দুটি পাখা প্রতিদিন 5 ঘন্টা ব্যবহার করেন। বৈদ্যুতিক খরচ প্রতি ইউনিটে 50 পয়সা হইলে 30 দিনের মাসে ঐ ব্যক্তির মোট বৈদ্যুতিক বিল কত হইবে?

উ। 4 বাতি ও 2টি পাখার মোট ওয়াট $=4\times40+2\times100=360$ watt ; প্রতিদিন ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তি $=360\times5$ ওয়াট-ঘণ্টা। মাসে ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তি $=360\times5\times30$ ওয়াট-ঘণ্টা।

$$\therefore \text{ মোট ইউনিট (B.O.T.) খরচ} = \frac{360\times5\times30}{1000} = 54.$$

কাজেই ব্যক্তির মাসিক বিল $=54\times50$ পয়সা $=$ Rs. 27.

প্রশ্নাবলী

1. যখন কোন তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তখন তারের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর (i) উদ্ভূত তাপ এবং (ii) তাপমাত্রা নির্ভর করে?

2. তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফল সম্পর্কিত জুল সূত্র ও তাহাদের পরীক্ষামূলক প্রমাণ বর্ণনা কর। [*M. Exam., 1979*]

3. তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর এবং উহাদের সম্বন্ধে যাহা জান লিখ।

4. একটি বৈদ্যুতিক ফিলামেন্ট বাতির বর্ণনা কর। ইহাকে বায়ুনিরুদ্ধ করা হয় কেন? যখন বাতি দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তখন বাতির তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় কেন? [*M. Exam., 1980*]

5. বৈদ্যুতিক 'ফিউজ্' কাহাকে বলে? উহা ব্যবহার করা হয় কেন?

6. বৈদ্যুতিক স্টোভ, হিটার প্রভৃতি নির্মাণে কি ধরনের তার সাধারণত ব্যবহৃত হয়? উহাদের কার্যপ্রণালী কি?

7. সংজ্ঞা দাও: ওয়াট, কিলোওয়াট, বি. ও. টি. একক।

8. একটি বৈদ্যুতিক বাতির গায়ে 220 volt. 60 watt লেখা আছে। ইহার অর্থ কি?

9. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত টীকা লেখ:

(ক) বৈদ্যুতিক স্টোভ [*M. Exam., 1982*]

(খ) বৈদ্যুতিক ফিলামেন্ট বাতি, [*M. Exam., 1983*]

(গ) ফিউজ্।

10. তড়িৎ-ক্ষমতা ও শক্তি কাহাকে বলে? ইহাদের একক কি?

11. তড়িৎ-বর্তনীতে ফিউজ্ ব্যবহার করা হয় কেন? ফিউজ্ কি দিয়া তৈরী?

Objective type :

12. নিম্নে (*a*) হইতে (*e*) পর্যন্ত কতকগুলি উক্তি এবং সেই সঙ্গে তাহাদের ব্যাখ্যা দেওয়া হইয়াছে। সংক্ষেপে কারণ উল্লেখ করিয়া বল যে ব্যাখ্যা শুদ্ধ কি অশুদ্ধ ঃ

উক্তি	ব্যাখ্যা
(a) ফিউজ্ তার তৈরী করিতে সীসা এবং টিনের সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়	ঐ সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক উচ্চ।
(b) বাড়ীতে বৈদ্যুতিক বাতিগুলি সমান্তরাল সজ্জায় থাকে	ইহাতে বাতিগুলি উজ্জ্বল হইয়া জ্বলে।
(c) একটি 100W – 220V বাতিকে 110V লাইনে ব্যবহার করা উচিত নয়	ইহাতে বাতির ফিলামেন্ট পুড়িয়া যাইবে।
(d) স্টোভ, হীটার প্রভৃতি তাপীয় যন্ত্রে তাপ-উৎপাদক হিসাবে নাইক্রোম তার ব্যবহার করা হয়	নাইক্রোমের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক খুব উচ্চ।
(e) একই প্রবাহ মোটা তারে একই সময় ব্যাপী প্রবাহিত হইলে কম তাপ উৎপন্ন হয়	উৎপন্ন তাপ রোধের সমানুপাতিক।

অঙ্ক ঃ

13. 4·2 ohm রোধের ভিতর দিয়া 2 amp প্রবাহ 5 মিনিটব্যাপী গেলে কত তাপ উৎপন্ন হইবে? [Ans. 1200 cal.]

14. 110 volt সরবরাহ লাইনে একটি বৈদ্যুতিক হীটার লাগাইলে 5 amp প্রবাহ লয়। 1 মিনিটে উহা কত তাপ উৎপন্ন করিবে? [Ans. 7920 cal.]

15. '80 watt—120 volt' বৈদ্যুতিক বাতির রোধ নির্ণয় কর। [Ans. 180 ohms]

16. একটি বৈদ্যুতিক স্টোভের রোধ 55 ohm ; ইহাকে 220 volt মেইন্সে যুক্ত করা হইল। 1 kg জলকে 34°C হইতে 100°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করিতে ইহা কত সময় লইবে? [Ans. 5 mnt 12 sec (প্রায়)]

17. একটি বাড়িতে 6টি 60w বাতি, এবং 2টি 40w পাখা প্রতিদিন 6 ঘন্টা চলে। 1 B.O.T. এককের মূল্য 50 পয়সা হইলে, ঐ বাড়ির মাসিক বৈদ্যুতিক বিল কত হইবে? 1 মাস=30 দিন। [Ans. Rs. 39·60]

18. বৈদ্যুতিক টোস্টারের তাপউৎপাদকের রোধ 22 ohm এবং উহাকে 110V লাইনে লাগানো হইল। ইহাকে 50 ঘন্টা ব্যবহার করিলে, খরচ কত হইবে? 1 B.O.T. এককের খরচ 20 পয়সা। [Ans. Rs. 5·50]

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ফল
(Chemical effect of electric current)

5-1. সূচনা (Introduction) ঃ

পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে, তরল পদার্থের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে একটি রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়; তাহাকে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ফল বলা হয়। এই ফল শুধু তরল পদার্থের বেলাতেই ঘটিতে দেখা যায়; কঠিন পদার্থের ভিতর দিয়া তড়িৎ-স্রোত গেলে তাপের উদ্ভব হয় কিন্তু কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ফল সম্বন্ধে জ্ঞানলাভ করিতে গেলে কয়েকটি রাশির সহিত পরিচিত হইতে হইবে।

5-2. কয়েকটি প্রয়োজনীয় রাশির সংজ্ঞা (Definition of some important terms) ঃ

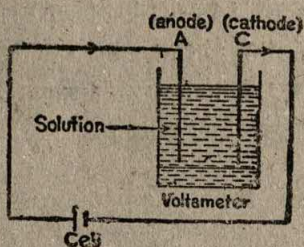
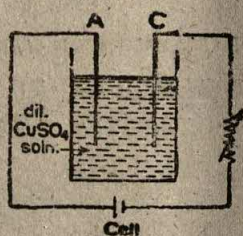
(ক) **তড়িৎ-বিশ্লেষ্য** (electrolyte) ঃ যে সকল তরল পদার্থের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় এবং সেই সঙ্গে রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়, তাহাদের তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলে। ঈষৎ অম্লযুক্ত (acidified) জল, তুঁতের দ্রবণ, সিলভার নাইট্রেট ইত্যাদি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য।

(খ) **তড়িৎ-বিশ্লেষণ** (electrolysis) ঃ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ গেলে রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং তাহার ফলে উক্ত পদার্থ-গুলির অণু বিশ্লিষ্ট হইয়া পড়ে। এই ঘটনাকে তড়িৎ-বিশ্লেষণ বলে। জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে, জলের প্রত্যেকটি অণু হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন অণুতে বিশ্লিষ্ট হয়।

(গ) **তড়িৎ-দ্বার** (electrodes) ঃ যে দুইটি পরিবাহীর সাহায্যে তড়িৎ-কোষ হইতে তড়িৎ-প্রবাহ তরলের ভিতর প্রবাহিত হয় তাহাদের তড়িৎদ্বার বলে। যে তড়িৎ-দ্বারটি কোষের ধনাত্মক পাতের (positive plate) সহিত যুক্ত থাকে সেই দ্বার দিয়া প্রবাহ তরলে প্রবেশ করে। এই কারণে ঐ দ্বারকে বলা হয় **অ্যানোড** (anode)। অন্য দ্বারটি যাহা কোষের ঋণাত্মক পাতের (negative plate) সহিত যুক্ত থাকে, তাহা তড়িৎ-প্রবাহকে তরল হইতে বাহির হইয়া যাইতে দেয়। এইজন্য ঐ দ্বারকে বলা হয় ক্যাথোড (cathode) (চিত্র নং 52)।

(ঘ) **তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ বা ভোল্টামিটার** (Electrolytic cell or Voltameter) ঃ যে পাত্রে তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে তরলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ করা হয় তাহাকে তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ বা ভোল্টামিটার বলে।

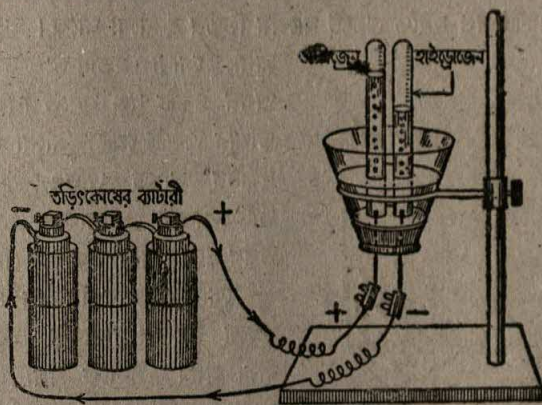
5-3. তড়িৎ বিশ্লেষণের কয়েকটি পরীক্ষা (Some experiments on electrolysis) ঃ

(i) **তুঁতের দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণ ঃ** একটি কাচের পাত্রে খানিকটা তুঁতের দ্রবণ (copper sulphate solution) লও এবং উহাতে কয়েক ফোঁটা সালফিউরিক অ্যাসিড মিশাও। দ্রবণের ভিতর দুইটি তামার পাত ডুবাইয়া পাত দুইটির সহিত একটি তড়িৎ কোষ যুক্ত কর। C পাতটি ডুবাইবার আগে পরিষ্কার করিয়া ওজন লও। এইবার তড়িৎ-কোষ হইতে কিছুক্ষণ ধরিয়া দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাও। এখানে A হইল অ্যানোড এবং

চিত্র নং 52

চিত্র নং 53

C হইল ক্যাথোড (চিত্র নং 53)। কিছুক্ষণ পরে C পাতটি তুলিয়া শুষ্ক কর ও ওজন লও। দেখিবে উহার ওজন কিছু বৃদ্ধি পাইয়াছে। অর্থাৎ তড়িৎ-প্রবাহের ফলে কপার সালফেটের অণুগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া পড়িয়াছে এবং কপার (তামা) অণুগুলি ক্যাথোড প্লেটে জমা হইয়াছে।

(ii) **জলের তড়িৎ বিশ্লেষণ** (Electrolysis of water) ঃ হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন---এই দুইটি গ্যাসের সংমিশ্রণে জল তৈয়ারী হয়---ইহা তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি দ্বারা প্রমাণ করা যায়।

একটি দু'মুখ-খোলা কাচের ফানেল লইয়া তলার ছোট মুখ কর্ক দ্বারা শক্ত করিয়া আটকাও। দুইটি সরু তামার পাত কর্কের ভিতর দিয়া পাত্রের মধ্যে ঢুকাও এবং উহাদের প্রান্তে দুইটি প্লাটিনামের পাত যুক্ত কর। পাত্রে কিছু জল ঢালিয়া দাও এবং দুইটি টেস্টটিউব জলপূর্ণ করিয়া প্লাটিনাম পাত দুইটির উপর উল্টাইয়া রাখ। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে টেস্টটিউব দুইটিতে যেন কোন বায়ু প্রবেশ না করে। তামার তার দুইটির অপর প্রান্তদ্বয় একটি তড়িৎ-কোষের ব্যাটারীর সহিত যুক্ত কর। ইহার পূর্বে কাচের ফানেলের জলে দু'এক ফোঁটা সালফিউরিক অ্যাসিড মিশাও ; ইহাতে জলের ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ চলাচল করিবার সুবিধা হইবে। এখন ব্যাটারীর সাহায্যে জলের ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে দেখিবে টেস্টটিউব দুইটিতে বুদ্‌বুদের আকারে গ্যাস জমা হইতেছে

(54 নং চিত্র) এবং টেস্টটিউব হইতে জল ধীরে ধীরে নামিয়া আসিতেছে। কিছুক্ষণ পর তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করিলে দেখিবে একটি টেস্টটিউবে অপরটি অপেক্ষা দ্বিগুণ

জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ ব্যবস্থা
চিত্র নং 54

আয়তনে গ্যাস জমা হইয়াছে। এস্থলে, জলের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যাইবার ফলে জলের প্রত্যেকটি অণু বিশ্লিষ্ট হইয়া গ্যাসে পরিণত হইয়াছে এবং ঐ গ্যাস টেস্টটিউবে জমা হইয়াছে।

কিছুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ চালাইয়া নল দুইটিতে গ্যাস সংগ্রহ কর এবং সাবধানে হাত দিয়া চাপিয়া জল হইতে এক এক করিয়া বাহির করিয়া আন।

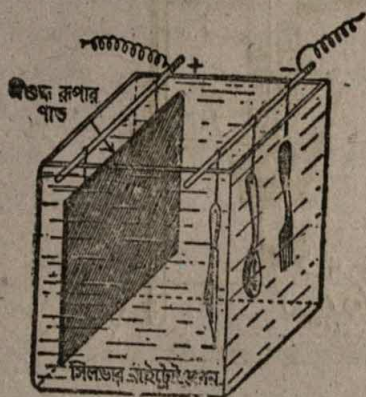
এখন, একটি জ্বলন্ত পাটকাঠি নিভাইয়া আগুন থাকিতে থাকিতে কম গ্যাসের নলে ঢুকাও। দেখিবে কাঠিটি দপ্ করিয়া জ্বলিয়া উঠিল। ইহা প্রমাণ করে যে ঐ গ্যাস অক্সিজেন। ঐরূপ পরীক্ষা অন্য নলের গ্যাসে করিলে কাঠিটি জ্বলিবে না কিন্তু গ্যাস জ্বলিতে থাকিবে। ইহা হইতে বলিতে পারা যায় ঐ নলের গ্যাস হাইড্রোজেন।

সুতরাং জলের এই তড়িৎ-বিশ্লেষণ পরীক্ষা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি, আয়তনের হিসাবে একভাগ অক্সিজেন এবং দুইভাগ হাইড্রোজেন গ্যাসের সংমিশ্রণে জল তৈয়ারী হয়।

5-4. শিল্পে তড়িৎ-বিশ্লেষণের প্রয়োগ (Industrial application of electrolysis) ঃ

তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি আজকাল নানা শিল্প প্রতিষ্ঠানে ব্যবহৃত হইতেছে। নিম্নে ইহাদের সম্বন্ধে বলা হইল ঃ

(ক) **তড়িৎ-প্রলেপন (Electro-plating) ঃ** এই প্রক্রিয়ার দ্বারা কাঁটা, ছুরি, চামচ, বোতাম, বিভিন্ন যন্ত্রপাতির অংশ প্রভৃতির উপর বিভিন্ন ধাতুর,

যেমন—সোনা, রূপা, নিকেলের প্রলেপ দেওয়া হয় ও ইহাতে জিনিসগুলি চক্‌চকে এবং সুন্দর দেখায়। ছুরি, কাঁটা প্রভৃতি যে সমস্ত দ্রব্যে প্রলেপ দিতে হইবে সেগুলি একটি দণ্ড হইতে একটি বাক্সের ভিতর ঝুলানো থাকে। বাক্সের ভিতর রূপা, সোনা ইত্যাদির দ্রবণ থাকে। অপর একটি দণ্ড হইতে বিশুদ্ধ রূপা বা তামার একটি প্লেট ঝুলানো থাকে। দণ্ড দুইটির সহিত তড়িৎ-কোষ লাগাইয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালাইলে জিনিসগুলির উপর প্রলেপ পড়িয়া যাইবে (চিত্র নং 55)।

তড়িৎ-প্রলেপন ব্যবস্থা
চিত্র নং 55

লোহার উপর নিকেল প্রলেপ দিতে হইলে নিকেল-সালফেট দ্রবণ ব্যবহার করা হয়। ইহাকে বলা হয় নিকেল-প্লেটিং। সোনার লেপনে (electro-guilding) অল্প দামী অলঙ্কারের উপর সোনার প্রলেপ দেওয়া হয়। এই ধরনের গহনাকে গিল্টির গহনা বলা হয়।

(a) **রূপার প্রলেপ ঃ** তামা, টিন অথবা লোহার পাত্রের উপর রূপার প্রলেপ দিতে বিশুদ্ধ রূপার প্লেটকে অ্যানোড, পাত্রকে ক্যাথোড এবং সিলভার নাইট্রেট দ্রবণকে তড়িৎ বিশ্লেষ্য হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

(b) **তামার প্রলেপ ঃ** লোহার পাত্রের উপর তামার প্রলেপ দিতে বিশুদ্ধ তামার প্লেটকে অ্যানোড, পাত্রকে ক্যাথোড এবং কপারসালফেট দ্রবণকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

(c) **সোনার প্রলেপ ঃ** তামা বা অন্য কোন সস্তা ধাতুর অলঙ্কারের উপর সোনার প্রলেপ দিতে বিশুদ্ধ সোনার পাতকে অ্যানোড, অলঙ্কারকে ক্যাথোড এবং পটাসিয়ম অরোসায়ানাইডের দ্রবণকে তড়িৎবিশ্লেষ্য হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

(খ) **ধাতব লেপন দ্বারা ছাঁচ প্রস্তুত** (Electrotyping) ঃ এই পদ্ধতিতে ধাতুর উপর ব্লক ও অক্ষরের ছাঁচ প্রস্তুত করা হয়।

ইহা ইলেক্‌ট্রোপ্লেটিং-এর এক বিশেষ পদ্ধতি। যে-সকল পুস্তক বা লেখা বহু কপি ছাপাইতে হয় তাহা সাধারণত ইলেক্‌ট্রোটাইপ প্লেট হইতে ছাপানো হয়। প্রথমে লেখাটি সাধারণ টাইপে কম্পোজ করা হয় এবং মোমের উপর তাহার একটি ছাপ লওয়া হয়। উহার উপরে কিছু গ্রাফাইট গুঁড়া ছড়াইয়া উহাকে তড়িৎ-পরিবাহী করা হয়। অতঃপর একটি তুঁতের দ্রবণে উহাকে ক্যাথোড পাত হিসাবে ঝুলানো হয় এবং অ্যানোড পাত হিসাবে তামার একটি

প্লট ব্যবহার করা হয়। তড়িৎপ্রবাহ চালাইলে মোমের ছাঁচের উপর তামা জমিবে এবং খানিকটা পুরু হইলে ছাঁচ হইতে উহাকে ছাড়াইয়া লওয়া হয়। ইহার সাহায্যে লেখাটির বহু কপি ছাপানো যায়।

(গ) **ধাতু নিষ্কাশন ও শোধন** (Extraction and purification of metal) : আকরিক (ores) হইতে ধাতু নিষ্কাশনে এবং নিষ্কাশিত ধাতু শোধনের জন্য আজকাল তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতির বহুল ব্যবহার দেখা যায়। যেমন, বক্সাইট হইতে অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে, কস্টিক সোডা ও কস্টিক পটাশ উৎপাদনে তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতিকে কাজে লাগানো হয়। তা ছাড়া ধাতু শোধনেও ইহার প্রয়োগ আছে। যেমন, আকরিক হইতে তামা নিষ্কাশনের পর তামাকে শোধন করিবার জন্য তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতির সাহায্য লওয়া হয়।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎ-প্রবাহের 'রাসায়নিক ফল' কাহাকে বলে? ইহার দু' একটি উদাহরণ দাও।
2. তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ফল কিভাবে প্রদর্শন করিবে? ইহার দু'একটি ব্যবহার উল্লেখ কর। [*M. Exam., 1982*]
3. নিম্নলিখিত পদগুলির ব্যাখ্যা কর :—
(i) তড়িৎ-বিশ্লেষণ, (ii) তড়িৎ-দ্বার, (iii) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য।
4. আয়তনের হিসাবে দুইভাগ হাইড্রোজেন এবং একভাগ অক্সিজেনের সংমিশ্রণে জল তৈয়ারী হয়, ইহা তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে কিরূপে প্রমাণ করিবে?
5. তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ফলের কয়েকটি শিল্প প্রয়োগের উল্লেখ কর।
6. তড়িৎপ্রলেপন কাহাকে বলে? ইহার ব্যাখ্যা কর। [*M. Exam., 1979, '81, '83*]
7. চিত্রসহ নিম্নলিখিত বিষয়গুলি বর্ণনা কর :
(a) তড়িৎ প্রলেপন [*M. Exam., 1983, '85, '87*]
(b) তড়িৎপ্রবাহের রাসায়নিক ফল এবং ইহার প্রয়োগ। [*M. Exam., 1984, '86, '88*]

● **Objective type :**

নিম্নের তালিকা তড়িৎ প্রলেপন সংক্রান্ত। তালিকার শূন্য স্থান পূরণ কর :

উদ্দেশ্য	অ্যানোড	ক্যাথোড	তড়িৎ বিশ্লেষ্য
(a) নিকেল প্লেটিং	..	লোহার চামচ	...
(b) সোনার প্লেটিং	...	..	পটাসিয়াম অরোসায়ানাইড
(c) জিংক প্লেটিং	..	..	জিংক ক্লোরাইড
(d) রূপার প্লেটিং	বিশুদ্ধ রূপা	..	..

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৭৯

PHYSICS (Additional)

Group—A

Answer any *two* questions.

1. নিউটনের গতিসূত্রগুলি বিবৃত কর। বল এবং ভরবেগের সংজ্ঞা দাও।

10^3 ডাইন বল বলিতে কি বুঝ? এই বল 500 গ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করিলে কি পরিমাণ ত্বরণ উৎপন্ন করিবে? এই বলকে পাউণ্ডালে প্রকাশ কর।

[*Ans.* 2 cm/s^2 ; 0·072 পাউণ্ডাল (প্রায়)]

2. ত্বরণের একক প্রকাশ করিবার জন্য 'প্রতিসেকেণ্ডে' কথাটি দুইবার ব্যবহৃত হয় কেন বুঝাও। $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সূত্রটি প্রমাণ কর।

একটি বস্তু স্থিতিশীল অবস্থা হইতে সুষম ত্বরণ লইয়া চলিতেছে। বস্তুটির (i) বেগ-সময় এবং (ii) দূরত্ব-সময় লেখ আঁকিয়া দেখাও। বস্তুটি 10 সেকেণ্ডে 10 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিলে উহার ত্বরণ কত?

[Ans. 0·2 ft/s^2]

3. (*a*) পাস্কালের সূত্রটি লিখ। একটি হাইড্রলিক প্রেসের বর্ণনা দাও।

(*b*) 'তরল উহার নিজস্ব সমতল খুঁজিয়া লয়'—ইহা কিভাবে দেখাইবে?

(*c*) ভর, আয়তন ও ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

4. (*a*) একটি পাম্পের ক্রিয়ার বর্ণনা ও ব্যাখ্যা দাও। উহার সাহায্যে জল উপরে তুলিবার উচ্চতর সীমা কত?

(*b*) পারদের ঘনত্ব 13·6 গ্রাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা 760 মিলি-মিটার এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ 980 সে. মি. প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি সেকেণ্ডে হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ কত হইবে?

[Ans. $1{\cdot}013\times10^5$ dyne/cm^2]

যদি ফর্টিনের চাপমান যন্ত্রের পাঠ সহসা নামিয়া যায় তবে আবহাওয়া সম্বন্ধে কি সিদ্ধান্তে আসিবে?

Group—B

Answer any *two* questions.

5. তাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে পার্থক্য কি কি? থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহৃত হয় কেন? ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটারের বর্ণনা দাও। কোন্ উষ্ণতায় সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট থার্মোমিটারের পাঠ একই হইবে?

[*Ans.* −40°]

6. (i) একই পরিমাণ তাপ একই ভর-বিশিষ্ট দুইটি বিভিন্ন উপাদানের বস্তুর উপর প্রয়োগ করিলে উহাদের তাপমাত্রার বৃদ্ধি কি একই হইবে? কেন?

(ii) 20 গ্রাম ভর-বিশিষ্ট কোন বস্তুর জল-সম 10 গ্রাম হইলে উহার আপেক্ষিক তাপ কত? উহার তাপগ্রাহিতা কত?

[Ans. 0·5 ; 10 cal]

(iii) 10 গ্রাম জলে 1 ব্রিটিশ থার্মাল একক তাপ প্রয়োগ করিলে উহার তাপমাত্রার বৃদ্ধি কত হইবে? [*Ans.* 25·2°C]

(iv) 0°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম বরফকে 100°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম জলীয় বাষ্পে পরিণত করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহা নির্ণয় কর। (বরফের লীনতাপ=80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে, জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ=540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে)। [*Ans.* 720 cal]

7. তাপসঞ্চালনের বিভিন্ন প্রক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য দেখাও। থার্মোফ্লাস্কে কিভাবে উহাদের যথাসম্ভব কমাইয়া রাখা হয় বল।

কেন বুঝাও : (i) শীতকালে পশমের জামা-কাপড় আরামপ্রদ, (ii) মেঘশূন্য রাত্রি অপেক্ষা মেঘপূর্ণ রাত্রি উষ্ণতর।

8. গলনের লীন-তাপের সংজ্ঞা দাও। গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব দেখাইবার জন্য একটি সহজ পরীক্ষার বর্ণনা দাও। তরলের বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের মধ্যে পার্থক্য কী লিখ।

11°C উষ্ণতায় 480 গ্রাম জলের মধ্যে 100°C উষ্ণতায় 11·5 গ্রাম স্টীম প্রবাহিত করা হইল। উষ্ণতা 25°C হইল। পাত্রের ভর 190 গ্রাম এবং উহার আপেক্ষিক তাপ 0·1 হইলে স্টীমের লীন তাপ কত? [*Ans.* 532·5 cal/gm]

Group—C

Answer any *two* questions.

9. আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলি বিবৃত কর। আলোকের রং-এর উপর প্রতিসরাঙ্ক কিভাবে নির্ভর করে? অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের শর্তগুলি কি কি? ইহার একটি উদাহরণ দাও। সহজ চিত্রদ্বারা উত্তল লেন্সের সাহায্যে সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্ব কিভাবে গঠিত হয় দেখাও।

10. (*a*) চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব অনুযায়ী নিম্নলিখিতগুলি বুঝাও :

(i) চুম্বকন দুইটি সমান ও বিপরীত মেরুর সৃষ্টি করে; (ii) আগে আবেশ, পরে আকর্ষণ।

(*b*) কিভাবে দেখাইবে যে—(i) ঘর্ষণে দুই প্রকারের বিদ্যুৎ সৃষ্টি হয়, (ii) বৈদ্যুতিক আবেশের ফলে দুই সমান ও বিপরীতধর্মী আধানের সৃষ্টি হয়?

11. সরল তড়িৎকোষের বর্ণনা দাও। উহার ত্রুটিগুলি কি কি? উহাদের কিভাবে দূর করা হয়? তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-বৈষম্যের পার্থক্য দেখাও।

12. নিম্নলিখিতগুলির যে কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও :

(*a*) বৈদ্যুতিক ঘন্টা। (*b*) জুলের সূত্রগুলি এবং তাহাদের পরীক্ষামূলক প্রমাণ। (*c*) বার্লোর চক্র। (*d*) তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া এবং তড়িৎ প্রলেপন।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮০

PHYSICS (Additional)

Group—A

Answer any *two* questions.

1. (*a*) পদার্থের জাড্য বলিতে কি বুঝ? উদাহরণ দাও।

(*b*) দ্রুতি ও বেগের পার্থক্য কি?

(*c*) প্রমাণ কর: $P=mf$, যেখানে P=বল, m=ভর এবং f=ত্বরণ।

(*d*) স্থির অবস্থায় 16 পাউণ্ড ভরের কোন বস্তুর উপর একটি বল 3 সেকেণ্ড ব্যাপী কাজ করিবার পর বলের ক্রিয়া বন্ধ হইল। পরবর্তী 3 সেকেণ্ড সময়ে বস্তুটি 81 ফুট গেল। বস্তুটির উপর কতটা বল ক্রিয়া করিয়াছিল? [*Ans.* 144 poundals]

2. (*a*) নিউটনের মাধ্যাকর্ষণ সূত্রটি লিখ। অভিকর্ষ এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ বলিতে কি বুঝ?

(*b*) কোন বস্তুর ভর ও ওজনের পার্থক্য কি?

(*c*) 40 ফুট সেকেণ্ড প্রাথমিক বেগ দিয়া একটি পাথর খণ্ডকে উর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হইল। পাথর খণ্ডটি (i) সর্বাধিক কত উচ্চতায় উঠিবে এবং (ii) ভূমিতে পৌঁছাইতে কত সময় লইবে, নির্ণয় কর। [g=32 ফুট/সেকেণ্ড^2] [*Ans.* 25 ft. ; 2·5 second]

3. (*a*) ওয়াট ও হর্স পাওয়ারের সংজ্ঞা দাও। উহাদের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(*b*) প্রমাণ কর যে পতনশীল কোন বস্তুর গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফলের পরিমাণ ধ্রুবক।

(*c*) একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট ও বড় পিস্টন দুইটির ব্যাস যথাক্রমে 1 ইঞ্চি এবং 1 ফুট। ঘাতের বিবর্ধন নির্ণয় কর। [*Ans.* 144]

4. (*a*) বায়ুমণ্ডল চাপ দেয় ইহা প্রমাণের জন্য একটি সহজ পরীক্ষার বর্ণনা দাও। ডাইন সে. মি.^{2} এককে প্রমাণ বায়ুমণ্ডলীয় চাপের মান কত?

(*b*) ছবির সাহায্যে টিউব-ওয়েল পাম্পের কার্যপ্রণালীর বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে যে কোন গভীরতা হইতে জল উত্তোলন সম্ভব কিনা বুঝাও।

Group—B

Answer any *two* questions.

5. একটি পারদ থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর। থার্মোমিটারে ব্যবহৃত পদার্থ হিসাবে পারদের সুবিধা কি কি? উষ্ণতার জন্য কি কি বিভিন্ন স্কেল ব্যবহৃত হয়? উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক বিবৃত কর। −40°F উষ্ণতার সমান উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড স্কেলে কি হইবে নির্ণয় কর। [*Ans.* −40°C]

6. গ্যাসের সূত্র দুইটি বিবৃত কর এবং সংযুক্ত সূত্রটি একটি সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ কর। চরমশূন্য এবং উষ্ণতার চরমস্কেল কাহাকে বলে?

15°C উষ্ণতায় এবং চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস উত্তপ্ত করিয়া উহার আয়তন দ্বিগুণ করা হইল। উহার অন্তিম উষ্ণতা কত?

[*Ans.* 303°C]

7. গলনের লীন তাপ এবং বাষ্পীভবনের লীন তাপের সংজ্ঞা দাও।

গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব দেখাইবার জন্য দুইটি সহজ পরীক্ষার বর্ণনা দাও।

100°C উষ্ণতায় 11 গ্রাম স্টীম 11°C উষ্ণতায় 480 গ্রাম জলের মধ্যে প্রবাহিত করা হইল। উষ্ণতা বাড়িয়া 25°C হইল। পাত্রের ভর নির্ণয় কর। [দেওয়া আছে ঃ উহার আপেক্ষিক তাপ=0·1 এবং বাষ্পীভবনের লীন তাপ =540 ক্যালরি/গ্রাম]।

[*Ans.* 251·8 gm]

8. শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা দাও।

ইহাদের মান এবং ব্যারোমিটারে বায়ুর চাপ জানিয়া কিভাবে আবহাওয়ার পূর্বাভায দিবে সংক্ষেপে বল।

সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্পের মধ্যে পার্থক্য কি?

তাপের পরিচলন উপকারে লাগে এইরূপ দুইটি উদাহরণ দাও।

Group C

Answer any *two* questions

9. সূর্যের পূর্ণগ্রাস গ্রহণ কিভাবে হয় বুঝাইয়া বল।

প্রতি অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ হয় না কেন?

আলোকের প্রতিফলনের সূত্রগুলি লিখ। উহাদের কিভাবে প্রমাণ করিবে?

10. (*a*) সংজ্ঞা দাও ঃ চৌম্বক আবেশ, চৌম্বক মধ্যতল এবং চৌম্বক ভ্রামক।

তোমাকে সম্পূর্ণ সদৃশ তিনটি দণ্ড দেওয়া হইল, তন্মধ্যে একটি অচৌম্বক পদার্থ, একটি চৌম্বক পদার্থ এবং তৃতীয়টি একটি চুম্বক। অন্য কিছু ব্যবহার না করিয়া উহাদিগকে কিভাবে চিনিবে?

(*b*) কেমন করিয়া দেখাইবে যে আধান তড়িৎবাহী পদার্থের কেবলমাত্র বাহির তলে অবস্থান করে?

স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণের বর্ণনা দাও।

11. তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া এবং রাসায়নিক ক্রিয়া কিভাবে দেখাইবে?

বৈদ্যুতিক ঘন্টার কার্যপ্রণালীর বর্ণনা দাও।

বৈদ্যুতিক ফিলামেন্ট বাতির গঠন বর্ণনা কর।

12. নিম্নলিখিতগুলির যে কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও ঃ

(*a*) লেক্ল্যান্স কোষ, (*b*) বিদ্যুৎপ্রবাহের উপর চৌম্বক ক্রিয়া, (*c*) বিদ্যুৎ চুম্বক, (*d*) গ্যালভ্যানোমিটার।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮১

PHYSICS (Additional)

Group A (Answer any *two* questions)

1. নিউটনের প্রথম ও দ্বিতীয় গতি-সূত্র বিবৃত কর। দ্বিতীয় সূত্রটিকে একটি সমীকরণের সাহায্যে লিখিয়া ডাইনের ও পাউণ্ডালের সংজ্ঞা দাও।

ত্বরণ ও ভরবেগ কাহাকে বলে? সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে উহাদের এককগুলি কি? এক পাউণ্ডাল বল কত গ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করিলে 1 ফুট/সেকেণ্ড ত্বরণ উৎপন্ন করবে?

[*Ans.* 453·6 gm]

2. পার্থক্য দেখাও :—

(i) ভর ও ভার, (ii) বেগ ও দ্রুতি, (iii) মহাকর্ষ ও অভিকর্ষ।

একটি ট্রেন প্রতি ঘন্টায় 60 মাইল বেগে চলিতেছে। ব্রেক কষিবার ফলে 4 ft/sec^2 মন্দনের সৃষ্টি হইল। ইহার 10 সেকেণ্ড পরে ট্রেনটির বেগ কত হইবে?

[*Ans.* 48 ft/s^2]

200 ফুট উচ্চতা হইতে কোন বস্তু পড়িতেছে। ভূমি হইতে 100 ফুট উচ্চতায় উহার বেগ কত হইবে?

3. (*a*) আর্কিমিডিসের সূত্রটি কি? উহা পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে প্রমাণ করিবে?

(*b*) পাস্কালের সূত্রটি বিবৃত কর। পরিষ্কার চিত্রসহ একটি হাইড্রলিক প্রেসের বর্ণনা দাও।

4. (*a*) সাইফন কাহাকে বলে? ইহার কার্যপ্রণালীর ব্যাখ্যা দাও :

(*b*) ফর্টিনের ব্যারোমিটারের বর্ণনা দাও।

(*c*) বয়েলের সূত্রটি বিবৃত কর।

Group B

Answer any *two* questions

5. তাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে পার্থক্য দেখাও।

সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেলের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

শীতকালের কোন একদিন তাপমাত্রা 23°F হইল। সেন্টিগ্রেডে এই তাপমাত্রা কত?

[*Ans.* −5°C]

একটি ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর। এই থার্মোমিটারটি ফুটন্ত জলে রাখিলে কি হইবে?

6. (*a*) সংজ্ঞা দাও :

(i) ক্যালরি, (ii) ব্রিটিশ থার্মাল একক, (iii) জল-সম।

একটি পাত্রে 12°C উষ্ণতায় 40 গ্রাম জল আছে। এই জলে 80°C উষ্ণতায় 50 গ্রাম জল ঢালা হইল এবং অন্তিম উষ্ণতা 46°C হইল। পাত্রটির জল-সম নির্ণয় কর।

[*Ans.* 10 gm]

(*b*) কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ও আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

7. স্ফুটন ও বাষ্পীভবনের মধ্যে পার্থক্য দেখাও। উহারা কি কি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল?

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ব্যাখ্যা দাও।

একটি থার্মোফ্লাস্কের বর্ণনা দাও।

8. (i) তাপ প্রয়োগে পদার্থের কি কি পরিবর্তন হয় বা হইতে পারে বলিয়া তোমার ধারণা—বিবৃত কর।

(i.) ধাতুনির্মিত স্কেল বিভিন্ন তাপমাত্রায় নির্ভুলভাবে দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিতে পারে কি? কেন?

(iii) কেটলির হাতলে বেত জড়ানো থাকে কেন?

(iv) গ্রীষ্মকালে কোন একদিন পুরী ও দিল্লী দুইস্থানে একই তাপমাত্রা থাকিলেও পুরীতে বেশী কষ্ট অনুভব হয় কেন?

(v) শীতকালে পশমের জামাকাপড় বেশী আরামপ্রদ হয় কেন?

Group C

Answer any *two* questions

9. আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলি বিবৃত কর। উহাদের কিভাবে প্রমাণ করিবে? সঙ্কট কোণ কাহাকে বলে? মরুভূমিতে মরীচিকা কিভাবে উৎপন্ন হয় চিত্রসহ বুঝাইয়া বল।

10. (*a*) কৃত্রিম উপায়ে চুম্বকনের বিভিন্ন প্রক্রিয়ার বর্ণনা দাও।

(*b*) আকর্ষণের পূর্বে আবেশ—বুঝাও।

(*c*) স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রকে আবেশের দ্বারা ঋণাত্মক আধানে কিভাবে আহিত করিবে?

11. (*a*) সরল কোষের ত্রুটিগুলি লেকল্যান্স সেলে কিভাবে বিদুরিত হয়?

একটি তামার তারের রোধ কিভাবে পরিবর্তিত হইবে যদি (i) উহার দৈর্ঘ্য কমানো হয় (ii) উহার ব্যাস কমানো হয়?

(*b*) নিম্নলিখিতগুলির যে কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও :—

(i) বার্লোর চক্র, (ii) বৈদ্যুতিক ঘন্টা, (iii) তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া ও তড়িৎ প্রলেপন, (iv) বজ্র নিবারক।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮২

PHYSICS (Additional)

Group—A

Answer any *two* questions

1. (*a*) প্লবতা বলিতে কি বুঝায় তাহা ব্যাখ্যা কর।

একটি সাধারণ হাইড্রোমিটার কিভাবে ব্যবহৃত হয়?

(*b*) আর্কিমিডিসের সূত্রের সাহায্যে একটি ধাতব খণ্ডের আয়তন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব কিভাবে নির্ণয় করিবে?

কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 50 গ্রাম। উহার জলের ভিতর ওজন 40 গ্রাম। বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব ও আয়তন কত? [*Ans.* 10 c.c. ; 5]

2. (*a*) প্রমাণ কর : $P=mf$ যেখানে P=বল, m=ভর এবং f=ত্বরণ।

(*b*) একটি বাস 40 ft/sec. বেগে চলিতেছে। ব্রেকের দ্বারা কতখানি মন্দন সৃষ্টি করিলে উহাকে 100 ft. দূরত্বের মধ্যে থামানো যাইবে? থামিতে সময় কত লাগিবে?

[*Ans.* 8 ft/s^2 ; 4·5 sec]

(*c*) বায়ুমণ্ডল চাপ দেয় ইহা প্রমাণের জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। একটি পিচকারীতে জল কিভাবে উঠে?

3. (*a*) নিউটনের মাধ্যাকর্ষণ সূত্রটি লিখ। অভিকর্ষজ ত্বরণ কাহাকে বলে?

(*b*) একটি বস্তুকে 16ft/sec. বেগে ঊর্ধ্বমুখে উৎক্ষেপণ করা হইল। বস্তুটি কত উচ্চতা পর্যন্ত উঠিবে এবং কতক্ষণ পরে আবার ভূমি স্পর্শ করিবে?

[g=32 ft/sec^2] [*Ans.* 4 ft ; 1 sec]

(*c*) একটি দীর্ঘ বায়ুপূর্ণ নলে একটি ধাতব মুদ্রা ও একটি পালক নিয়া নলটি উল্টাইয়া দেওয়া হইল। নলটি বায়ুশূন্য করিয়া পরীক্ষাটি আবার করা হইল। দুই ক্ষেত্রে বস্তু দুইটির পতনের সময়ের কোন তারতম্য ঘটিবে কি? কারণ সহ ব্যাখ্যা কর।

4. (*a*) কার্য ও ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে উহার একক কি?

(*b*) ফুট পাউণ্ডাল ও আর্গের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[1 পাউণ্ড=4536 গ্রাম, 1 ফুট=30·48 সে. মি.]

(*c*) প্রমাণ কর যে পতনশীল কোন বস্তুর গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফলের পরিমাণ ধ্রুবক।

Group B

Answer any *two* questions

5. থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহৃত হয় কেন? একটি পারদ থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর।

উষ্ণতার জন্য ব্যবহৃত দুইটি স্কেল কি কি? উহাদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

কোন দিনের তাপমাত্রা 40°C হইলে ফারেনহাইট স্কেলে এই তাপমাত্রা কত?

[*Ans.* 104°]

6. কোন কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক বলিতে কি বুঝায়? চার্লসের সূত্র বিবৃত কর। তাপমাত্রার চরম স্কেল কাহাকে বলে?

কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ বলিতে কি বুঝায়?

50 গ্রাম ভরের একখণ্ড লোহা অগ্নিকুণ্ডে উষ্ণ করিয়া একটি জলপূর্ণ পাত্রে ফেলা হইল। জল পাত্রের জলসম 10 gm. ও উহাতে 50°C উষ্ণতায় 40 gm. জল ছিল। তাপমাত্রা বাড়িয়া 50°C হইল। অগ্নিকুণ্ডের তাপমাত্রা কত?

[লোহার আপেক্ষিক তাপ=0·1] [*Ans.* 560°C]

7. 'বরফ গলনের লীন তাপ 80 cal/gm' বলিতে কি বুঝায়? গলনাঙ্কের ওপর চাপের প্রভাব দেখান যায়, এমন একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

30°C উষ্ণতা বিশিষ্ট 20 gm. জলের সঙ্গে −10°C উষ্ণতায় 5 gm বরফ মিশাইলে মিশ্রণের তাপমাত্রা কত হইবে? [*Ans.* 7°C]

[বরফের আপেক্ষিক তাপ=0·5 ও বরফ গলনের লীন =80 cal/gm.]

8. (*a*) সংজ্ঞা লিখ—

(i) শিশিরাঙ্ক, (ii) আপেক্ষিক আর্দ্রতা, (iii) সংপৃক্ত বাষ্প।

(*b*) তাপ কি কি উপায়ে প্রবাহিত হয়? উদাহরণসহ আলোচনা কর। থার্মোফ্লাস্কের বর্ণনা কর।

Group C

Answer any *two* questions

9. একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বলিতে কি বুঝায়? উক্ত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কিভাবে নির্ণয় করা যায়? কি অবস্থায় একটি উত্তল লেন্সের প্রতিবিম্ব অসদ্ হয়? উহার বিবর্ধন কিরূপ হয়?

সূর্যের আলোক বিভিন্ন রং-এর আলোর সমষ্টি ইহা দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

10. চৌম্বক আবেশ কাহাকে বলে?

একটি স্থায়ী চুম্বক ও একটি চুম্বকীয় পদার্থের মধ্যে পার্থক্য কিভাবে নির্ণয় করিবে?

একটি চুম্বককে সুতার সাহায্যে ঝুলাইলে উহা কেন উত্তর দক্ষিণ দিকে দেখায়?

একটি দিক নির্দেশক কম্পাস বর্ণনা কর।

11. তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া দেখাইবার জন্য একটি বর্ণনা কর।

গ্যালভ্যানোমিটার দ্বারা কিভাবে তড়িৎপ্রবাহ মাপা যাইতে পারে?

তড়িৎপ্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া কিভাবে দেখাইবে? উহার একটি ব্যবহার বর্ণনা কর।

12. নিম্নলিখিত যে কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও—

(*a*) স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র, (*b*) বৈদ্যুতিক স্টোভ, (*c*) তড়িৎ চুম্বক, (*d*) সীসা সঞ্চয়ক কোষ।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮৩

PHYSICS (Additional)

Group A

Answer any *two* questions

1. (*a*) সরণ, বেগ ও ত্বরণের সংজ্ঞা দাও। দ্রুতি ও বেগের মধ্যে পার্থক্য কি?

(*b*) নিউটনের গতি-সূত্রগুলি বিবৃত কর। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক কিভাবে নির্ধারিত হয়?

2. (*a*) পাস্কালের সূত্র বিবৃত কর। চাপের একক কি? হাইড্রলিক প্রেসের কার্য-প্রণালী বর্ণনা কর।

(*b*) আর্কিমিডিসের সূত্র পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে প্রমাণ করা যায়? উহার সাহায্যে একটি ধাতুখণ্ডের আপেক্ষিক গুরুত্ব কিভাবে নির্ণয় করিবে?

3. (*a*) চিত্রসহ একটি নিষ্কাশক পাম্পের বর্ণনা কর।

(*b*) ফর্টিনের ব্যারোমিটারের বর্ণনা দাও।

(*c*) একটি উত্তোলক পাম্পের সাহায্যে জল কতটা উচ্চতা পর্যন্ত তোলা যাইতে পারে? কারণ সহ ব্যাখ্যা কর।

4. (*a*) একটি গাড়ী 5 ft. sec^2 ত্বরণ প্রাপ্ত হইলে স্থিতাবস্থা হইতে 4 সেকেণ্ডে কতটা দূরত্ব অতিক্রম করিবে? [*Ans.* 40 ft]

(*b*) কি গতিবেগে উপরদিকে উৎক্ষেপ করিলে একটি বল ভূপৃষ্ঠ হইতে 100 ফুট উচ্চতা পর্যন্ত উঠিবে? [*Ans.* 80 ft/s]

(*c*) সংজ্ঞা দাও—আর্গ, জুল, ফুট-পাউণ্ড, ওয়াট ও হর্সপাওয়ার।

Group B

Answer any *two* questions

5. (*a*) তাপ ও তাপমাত্রার পার্থক্য কি কি? একটি ক্লিনিকাল থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর।

(*b*) কোন দিনের তাপমাত্রা 77°F হইলে সেন্টিগ্রেড স্কেলে উহা কত হইবে?

[*Ans.* 25°C]

সংজ্ঞা লিখ : আপেক্ষিক তাপ, জল-সম।

6. (*a*) পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $18 \times 10^{-5}/°C$ বলিতে কি বুঝায়? কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(*b*) জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ কাহাকে বলে? গ্যাসের তাপীয় প্রসারণের বৈশিষ্ট্য কি? গ্যাসের চাপ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে?

7. (*a*) একটি লোহার পাত্রে 25°C উষ্ণতায় 100 gm. জল আছে। উহার মধ্যে 60°C উষ্ণতায় 50 gm. জল ঢালিলে চূড়ান্ত উষ্ণতা দাঁড়ায় 35°C। পাত্রের জলসম কত? পাত্রটির ভর 250 gm. হইলে লোহার আপেক্ষিক তাপ কত? [*Ans.* 25 gm ; 0·1]

(*b*) স্ফুটন ও বাষ্পীভবনের মধ্যে পার্থক্য কি?

(*c*) লীন তাপ কাহাকে বলে?

8. (*a*) ব্যাখ্যা কর :—

(i) ধাতব কলসীর তুলনায় মাটির কলসীতে জল বেশী ঠাণ্ডা হয়। (ii) প্রেসার কুকারের মাংস তাড়াতাড়ি সিদ্ধ হয়। (iii) দুই খণ্ড বরফ একসঙ্গে রাখিয়া চাপ দিলে জোড়া লাগিয়া যায়।

(*b*) তাপের পরিবহণ ও পরিচলনের মধ্যে পার্থক্য কি? বিকিরণ কাহাকে বলে? তাপের সু ও কুপরিবাহীর একটি করিয়া ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।

Group C

Answer any *two* questions

9. (*a*) চিত্র সহকারে কিভাবে হয় ব্যাখ্যা কর।

(*b*) অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন কাহাকে বলে? মরুভূমিতে মরীচিকা কিভাবে হয় চিত্র আঁকিয়া বুঝাইয়া বল।

10. (*a*) কি কি ভাবে একটি লৌহখণ্ডকে চুম্বকে পরিণত করা যাইতে পারে?

(*b*) "পৃথিবী একটি বিশাল চুম্বক" একথা কেন বলা হয়?

(*c*) কোন অট্টালিকাকে কিভাবে বজ্রপাত হইতে রক্ষা করা যায় চিত্র সহ বুঝাও।

11. (*a*) একটি সরল কোষে কি কি ত্রুটি থাকিতে পারে? একটি সীসা সঞ্চয়ক কোষের বর্ণনা কর।

(*b*) একটি বৈদ্যুতিক ঘন্টার বর্ণনা দাও।

12. যে কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত সচিত্র বর্ণনা দাও :—

(i) তড়িৎ প্রলেপণ, (ii) বৈদ্যুতিক বাতি, (iii) বার্লোর চক্র, (iv) স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র।

মাধ্যমিক পরীক্ষা—১৯৮৪

PHYSICS (Additional)

Group A

Answer any *two* questions

1. (*a*) $s=ut+ft^2$ সূত্রটি প্রমাণ কর।

একটি স্থির বস্তুকে কি পরিমাণ ত্বরণ দিলে উহা 10 সেকেণ্ডে 100 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিবে? এই সময়ে উহার গতিবেগ কত হইবে? [*Ans.* 2 ft/s² ; 20 ft/s]

(*b*) প্রমাণ কর : $P=mf$, যেখানে P=বল, m=ভর এবং f=ত্বরণ।

সি. জি. এস্. ও এম্. কে. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক কি? উহাদের মধ্যে সম্পর্ক কি নির্ণয় কর। 50 lb. ভরের এক বস্তুকে 2 ft/sec² ত্বরণ দিতে হইলে কতটা বল প্রয়োগ করিতে হইবে? [*Ans.* 100 poundals]

2. (*a*) প্লবতা কাহাকে বলে? ভাসনের সূত্রগুলি লিখ। একটি সাধারণ হাইড্রোমিটার বর্ণনা কর।

(*b*) সাবমেরিনের কার্যপ্রণালী সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

(*c*) বয়েলের সূত্র লিখ। উষ্ণতা অপরিবর্তিত রাখিয়া কোন গ্যাসের চাপ দ্বিগুণ করিলে উহার আয়তন কত হইবে?

পারদের ঘনত্ব 13·6 গ্রাম প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, পারদস্তম্ভের উচ্চতা 760 মিলিমিটার ও অভিকর্ষজ ত্বরণ 980 সে. মি./সেকেণ্ড² হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ কত হইবে? [*Ans.* $1{\cdot}013\times10^6$ dyns/cm²]

3. (*a*) নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র বিবৃত কর। সার্বিক মহাকর্ষ ধ্রুবকের মান লিখ। মহাকর্ষ ও অভিকর্ষের মধ্যে পার্থক্য কি?

(*b*) পতনশীল বস্তুর সূত্রগুলি বিবৃত কর।

(*c*) একটি বস্তুকে 64 ft/sec বেগে উর্ধ্বমুখে উৎক্ষেপণ করিলে উহা কত উচ্চতা পর্যন্ত উঠিবে এবং কতক্ষণ পরে আবার ভূমি স্পর্শ করিবে? [g=32 ft./sec²]

[*Ans.* 64 ft ; 4 sec]

(*d*) অভিকর্ষজ ত্বরণ কাহাকে বলে? ইহা নির্ণয় করার জন্য একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা কর।

4. (*a*) কার্য, শক্তি ও ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও।

সি. জি. এস. এবং এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে উহাদের এককগুলি কি?

(*b*) শক্তির রূপান্তর কাহাকে বলে? কয়েকটি উদাহরণ দাও। কোন বস্তু পড়িতে থাকিলে উহার শক্তির কিরূপ রূপান্তর ঘটে?

20 পাউণ্ডের একটি বস্তু ভূপৃষ্ঠ হইতে 10 ফুট উচ্চতায় রহিয়াছে। উহার স্থিতি শক্তি কত হইবে? বস্তুটি পড়িয়া গেলে উহার চূড়ান্ত গতিশক্তি কত হইবে?

[*Ans.* 200 ft. lb ; 200 ft lb]

Group B

Answer any *two* questions

5. (*a*) থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহৃত হয় কেন?

একটি পারদ-থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর।

(*b*) তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক ও আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে? ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(*c*) তাপমাত্রার চরম স্কেল কাহাকে বলে?

6. (*a*) তাপের একক কি? আপেক্ষিক তাপ কাহাকে বলে?

তাপগ্রাহিতা ও জলসম কাহাকে বলে? ইহাদের একক কি?

20 গ্রাম ভরের একখণ্ড লোহা 500°C উষ্ণ অগ্নিকুণ্ড হইতে একটি জলপূর্ণ পাত্র ফেলা হইল। পাত্রের জলসম 10 গ্রাম ও উহাতে 90 গ্রাম জল 25°C তাপমাত্রায় থাকিলে চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হইবে? (লোহার আপেক্ষিক তাপ=0.1) [*Ans.* 34·3°C]

(*b*) বরফ গলনের লীন তাপ 80 cal/gm বলিতে কি বুঝায়?

গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব দেখান যায় এরূপ একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

7. (*a*) শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা দাও। বাতাসে যে জলীয় বাষ্প থাকে তাহা পরীক্ষার দ্বারা কিভাবে দেখাইবে?

(*b*) তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন প্রক্রিয়া কি কি?

থার্মোফ্লাস্কে কিভাবে উহাদের যথাসম্ভব কমাইয়া রাখা হয়?

8. (*a*) তাপের পরিচলন উপকারে লাগে এইরূপ দুইটি উদাহরণ দাও।

(*b*) 0°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম বরফকে 100°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম জলীয় বাষ্পে পরিণত করিতে কত তাপ লাগে?

[বরফের লীনতাপ=80 cal/gm. জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ =540 cal/gm]

[*Ans.* 720 cal]

(*c*) চাপ কমাইলে জলের স্ফুটনাঙ্ক কমে ইহা দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

(*d*) শীতকালে একটি লৌহ খণ্ডকে একই উষ্ণতার একটি কাষ্ঠখণ্ড অপেক্ষা শীতলতর বলে মনে হয় কেন?

Group C

Answer any *two* questions

9. (*a*) সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। এই ক্যামেরার ছিদ্র বড় করা হইলে কি ঘটিবে?

(*b*) আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলি বিবৃত কর। প্রিজমের সাহায্যে কিভাবে বর্ণালী পাইবে বর্ণনা কর। রামধনুতে বিভিন্ন রং দেখা যায় কেন?

10. (*a*) একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বলিতে কি বুঝায়? উক্ত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কিভাবে নির্ণয় করা যায়? উত্তল লেন্সকে বিবর্ধক কাচ হিসাবে কিভাবে ব্যবহার করা যায় তাহা চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

(*b*) চৌম্বক আবেশ কাহাকে বলে? একটি দিক্-নির্দেশক কম্পাস বর্ণনা কর।

11. (*a*) কিভাবে দেখাইবে যে ঃ—

(i) ঘর্ষণে দুই প্রকারের বিদ্যুৎ সৃষ্ট হয়; (ii) বৈদ্যুতিক আবেশের ফলে দুই সমান ও বিপরীত ধর্মী আধানের সৃষ্টি হয়।

(*b*) তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। তড়িৎচালক বল ও বিভববৈষম্যের পার্থক্য বুঝাও।

12. নিম্নলিখিত যে কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত সচিত্র বর্ণনা দাও ঃ—

(i) সীসা সঞ্চয়ক কোষ; (ii) তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া ও উহার প্রয়োগ; (iii) বৈদ্যুতিক ঘন্টা; (iv) বৈদ্যুতিক ইস্ত্রি।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮৫

PHYSICS

ক—বিভাগ

(যে কোন **দুইটি** প্রশ্নের উত্তর দাও)

১। (ক) নিউটনের গতিসূত্রগুলি বিবৃত কর। ডাইন ও পাউণ্ডাল কাহাকে বলে? (খ) দ্রুতি ও বেগের মধ্যে পার্থক্য কি? একটি স্থির বস্তুকে 6 সেঃ মিঃ সেকেণ্ড^2 ত্বরণ দেওয়া হইলে উহা কত সময়ে 75 সেঃ মিঃ দূরত্ব অতিক্রম করিবে? বস্তুটির ভর 2 গ্রাম হইলে এই ত্বরণ দিতে কতটা বল প্রয়োগ করিতে হইবে? [*Ans.* 5 sec ; 12 dyne]

(গ) 144 ফুট উচ্চতা হইতে একটি পাথর ফেলা হইল। ভূপৃষ্ঠে পৌঁছাইতে উহার কত সময় লাগিবে? তখন উহার গতিবেগ কত হইবে? [$g=32$ ft/sec^2]

[*Ans.* 3 sec ; 96 cm/s^2]

২। (ক) ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব কাহাকে বলে? ইহাদের একক কি? (খ) প্যাস্কালের সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। ইহার ব্যবহারিক প্রয়োগের একটি দৃষ্টান্ত দাও। (গ) আর্কিমিডিসের নীতি কি? কিভাবে এই নীতির সত্যতা পরীক্ষা করিবে?

৩। (ক) বায়ুমণ্ডলের চাপ কাহাকে বলে? পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে এই চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়? (খ) চিত্রসহ একটি সংনমক পাম্পের বর্ণনা দাও। (গ) ফর্টিনের ব্যারো-মিটারের বর্ণনা দাও।

৪। (ক) কার্য কাহাকে বলে? উহার বিভিন্ন এককগুলি কি? (খ) শক্তির সংরক্ষণ নীতি ব্যাখ্যা কর।

(গ) ক্ষমতা বলিতে কি বুঝায়? অশ্বক্ষমতা কাহাকে বলে ও ইহার সহিত কিলোওয়াটের কি সম্পর্ক? বিদ্যুৎশক্তির যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরের একটি উদাহরণ দাও।

খ—বিভাগ

(যে কোন **দুইটি** প্রশ্নের উত্তর দাও)

৫। (ক) কোন বস্তুর উষ্ণতা বলিতে কি বুঝায়? তাপ ও উষ্ণতার মধ্যে পার্থক্য কি? (খ) সেন্টিগ্রেড (সেলসিয়াস) ও ফারেনহাইট স্কেলের পারস্পরিক সম্পর্ক নিরূপণ কর। কোন দিনের উষ্ণতা 40°C হইলে ফারেনহাইট স্কেলে উহা কত হইবে? (গ) একটি ক্লিনিকাল থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর। [*Ans.* 104°]

৬। (ক) কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে? জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ কাহাকে বলে? (খ) চার্লসের সূত্র কি? এই সূত্র হইতে তাপমাত্রার চরম স্কেল কিভাবে পাওয়া যায়? (গ) 50 গ্রাম ওজনের একখণ্ড লৌহকে 10°C হইতে 30°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করিতে কত তাপ লাগিবে? ঐ লৌহখণ্ডের তাপগ্রাহিতা ও জলসম কত?

(লৌহের আপেক্ষিক তাপ=0·11) [*Ans.* 110 cal.; 5·5 gm.; 5·5 cal.]

৭। (ক) স্ফুটন ও বাষ্পীভবনের মধ্যে পার্থক্য কি? (খ) তরলের উপরিস্থ চাপের সহিত স্ফুটনাঙ্কের সম্পর্ক কি? পরীক্ষার সাহায্যে উহা কিভাবে দেখাইবে? (গ) গলন বা ঘনীভবনের সময় সাধারণত পদার্থের আয়তন কিভাবে পরিবর্তিত হয়? উদাহরণসহ আলোচনা কর।

৮। (ক) সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প বলিতে কি বুঝ? বাষ্পও যে গ্যাসের ন্যায় চাপ প্রয়োগ করে একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে তাহা প্রমাণ কর।

(খ) যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর:

(১) একখণ্ড লোহা ও একখণ্ড কাঠ একই উষ্ণতায় কিছুক্ষণ রাখিয়া হাত দিয়া স্পর্শ করিলে লৌহখণ্ডটি বেশী গরম বোধ হয়। (২) কেটলীর হাতলে বেত জড়ানো থাকে। (৩) স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু পরিচলন-প্রবাহের ফল।

গ—বিভাগ

(যে কোন **দুইটি** প্রশ্নের উত্তর দাও)

৯। (ক) চিত্রসহকারে সূর্যগ্রহণ কিভাবে হয় ব্যাখ্যা কর। (খ) আলোকের প্রতিফলনের সূত্রগুলি বিবৃত কর। একটি সমতল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্বের বৈশিষ্ট্য কি কি? (গ) অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন কাহাকে বলে? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

১০। (ক) একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে সদ্ প্রতিবিম্ব কিভাবে গঠন করিবে? একটি দূরস্থ বস্তুর দ্বারা উহার ফোকাস দূরত্ব কিভাবে নির্ণয় করা যায়? (খ) চুম্বক মেরু কাহাকে

বলে? উহাদের ধর্ম কি? (গ) পৃথিবীকে একটি বিশাল চুম্বকের সহিত কেন তুলনা করা হয়? চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

১১। (ক) পরিবাহী ও অন্তরকের মধ্যে পার্থক্য কি? ইলেকট্রন তত্ত্ব দ্বারা ইহা কিভাবে ব্যাখ্যা করা হয়? (খ) একটি লেকল্যান্স কোষ বর্ণনা কর এবং উহার কার্য-প্রণালী ব্যাখ্যা কর। (গ) তড়িৎ-চুম্বক কাহাকে বলে? উহার একটি ব্যবহারিক প্রয়োগ বর্ণনা কর।

১২। নিম্নলিখিত যে কোন **দুইটির** সংক্ষিপ্ত সচিত্র বর্ণনা দাও :—

(১) স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র, (২) বৈদ্যুতিক স্টোভ, (৩) গ্যালভানোমিটার, (৪) তড়িৎ প্রলেপন।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮৬

Group A

Answer any *two* questions

1. (*a*) ভৌত রাশি কাহাকে বলে? (*b*) এককের প্রয়োজন কি? একক কয় প্রকারের? (*c*) সি. জি. এস. ও এম. কে. এস. পদ্ধতির মৌল এককগুলি লেখ। (*d*) কোনও বলের পরিমাণ 0·1 ডাইন; এম. কে. এস. এককে উহা কত? (*c*) পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6; এম. কে. এস. এককে পারদের ঘনত্ব কত? [*Ans.* 10^{-6} নিউটন ; $13 \cdot 6 \times 10^3$ kg m^3]

2. (*a*) নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র কি? (*b*) অভিকর্ষ কাহাকে বলে? অভিকর্ষজ ত্বরণের সংজ্ঞা লিখ। (*c*) গ্রাম-ওজন ও পাউণ্ড-ওজন বলিতে কি বুঝ? (*d*) পতনশীল বস্তুর সূত্রগুলি লিখ। (*c*) 100 মিটার উচ্চতা হইতে 100 মি. সেকেণ্ড বেগ সহকারে একটি বস্তুকে নিম্নমুখে পাঠান হইল। মাটিতে পৌঁছাইতে উহার কত সময় লাগিবে ও অন্তিম বেগ কত হইবে?

3. (*a*) শক্তি ও ক্ষমতার সংজ্ঞা বিবৃত কর। (*b*) স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির মধ্যে পার্থক্য কি? (*c*) আর্গ, জুল, ওয়াট ও হর্স পাওয়ারের সংজ্ঞা বিবৃত কর। (*d*) 5 ডাইন বল 10 গ্রাম ভরবিশিষ্ট কোনও স্থির বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইল। 4 সেকেণ্ড পরে বস্তুটির ভরবেগ ও গতিশক্তি কত হইবে? (*e*) শক্তির রূপান্তরের একটি উদাহরণ দাও।

[*Ans.* 20 gm. cm/s ; 20 erg]

4. (*a*) ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা লিখ। (*b*) পরীক্ষাগারে কোনও তরলের ঘনত্ব নির্ণয়ের পদ্ধতির বর্ণনা দাও। (*c*) আর্কিমিডিসের নীতি কি? এই সূত্রের সাহায্যে একটি ধাতুখণ্ডের আয়তন ও ঘনত্ব কিভাবে নির্ণয় করিবে?

Group B

Answer any *two* questions

5. (*a*) আপেক্ষিক তাপ, তাপগ্রহিতা ও জলসমের সংজ্ঞা বিবৃত কর। (*b*) লীনতাপ কি? উহা কয় রকম? (*c*) —3°C উষ্ণতার 10 গ্রাম বরফকে 90 গ্রাম জল আছে এমন

একটি পাত্রে ফেলার পর দেখা গেল জলের উষ্ণতা কমিয়া 10°C হইয়াছে ও বরফ সম্পূর্ণ গলিয়াছে। গোড়ায় পাত্রের উষ্ণতা কত ছিল? বরফের লীনতাপ 80 ক্যা/গ্রাম, পাত্রের জলসম 10 গ্রাম। [*Ans.* 19·15°C]

6. (*a*) কোনও গ্যাসের ভৌত অবস্থা কোন্ কোন্ রাশি দ্বারা নির্ণীত হয়? (*b*) চার্লসের সূত্র বিবৃত কর ও এই সূত্র হইতে চরম শূন্য উষ্ণতার সংজ্ঞা কিভাবে লব্ধ হয় দেখাও। (*c*) 750 মিলিমিটার পারদের চাপে ও 27°C উষ্ণতায় কোনও আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন 250 মিলিলিটার। ঐ উষ্ণতায় কত চাপে গ্যাসের আয়তন 1/10 ভাগ কমিবে এবং অপরিবর্তিত চাপে কত উষ্ণতায় আয়তন 1/10 ভাগ বর্ধিত হইবে?

[*Ans.* 833·3 mm.; 57°C]

7. কারণ দর্শাও :—

(*a*) কাঁচের পাত্রে রাখা জল অপেক্ষা মাটির কলসে রাখা জল শীতলতর হয়। (*b*) কাঁচের পাত্রে বরফ-শীতল জল ঢালিলে পাত্রের বাহির গাত্রে জলবিন্দু দেখা যায়। (*c*) পাহাড়ি অঞ্চলে রান্নার কাজে বেশি সময় লাগে। (*d*) গ্রীষ্মে কালো ছাতা অপেক্ষা সাদা ছাতা অধিক উপযোগী।

8. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি আলোচনা কর। তাপক্ষয় রোধের জন্য কার্যকরী ব্যবস্থার উল্লেখ কর।

Group C

Answer any *two* questions.

9. (*a*) উত্তল লেন্স কত প্রকারের, চিত্র সহকারে দেখাও। (*b*) লেন্সের আলোককেন্দ্র ও ফোকাস দূরত্ব কাহাদের বলে? (*c*) একটি উত্তল লেন্সকে অনেকগুলি প্রিজমের সমন্বয় বলিয়া কিভাবে ধরা যাইতে পারে? এইরূপ লেন্সের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ও বস্তু-দূরত্বের সাধারণ সম্পর্ক কি? (*d*) কোন্ অবস্থায় উত্তল লেন্স দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্ব পর্দায় ধরা যায় না?

10. (*a*) চুম্বকের প্রধান দুই ধর্ম কি? (*b*) চৌম্বক ক্ষেত্র কি? ইহা কি কি ভাবে সৃষ্ট হইতে পারে? (*c*) চুম্বক-মেরু, চৌম্বক অক্ষ ও চৌম্বক দৈর্ঘ্যের সংজ্ঞা লিখ। (*d*) বিদ্যুৎবাহী তারকে চৌম্বকক্ষেত্রে রাখিলে কি হয়? (*c*) বার্লোর চক্রের ক্রিয়া প্রণালী বর্ণনা কর।

11. (*a*) তড়িতাবেশ বলিতে কি বুঝ? (*b*) স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও। এইরূপ যন্ত্রকে কিভাবে আবেশ দ্বারা আহিত করা যায়? এই যন্ত্রকে কি আধান পরিমাপক হিসাবে ব্যবহার করা চলে?

12. নিম্নলিখিত যে কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও :—

(*a*) বৈদ্যুতিক চৌম্বক। (*b*) তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া ও উহার প্রয়োগ। (*c*) লেক্ল্যান্স কোষ। (*d*) বৈদ্যুতিক চুল্লী।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮৭

Group A (Answer *any two* questions)

১। (ক) দ্রুতি ও বেগের সংজ্ঞা দাও ও তাহাদের সি. জি. এস এবং এম্. কে. এস. এককগুলি লেখ। ৪+২

(খ) বলের সংজ্ঞা দাও এবং নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে কিভাবে উহার পরিমাপ পাওয়া যায় তাহা আলোচনা কর। ৩+৫

(গ) একটি 100 ডাইন বল একটি 1 কিলোগ্রাম ভরের উপর 0·1 sec ধরিয়া প্রযুক্ত হইল। যদি ভরটির প্রারম্ভিক বেগ 1 মিটার/সেকেণ্ড হয়, তবে উহার অন্তিম বেগ বাহির কর। ৪

২। (ক) ভর ও ওজনের পার্থক্য দেখাও। একটি সাধারণ তুলাদণ্ডের বর্ণনা দাও এবং উহার ব্যবহার পদ্ধতি আলোচনা কর। ২+৪+৪

(খ) ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা লেখ। জল অপেক্ষা ভারী ও জলে দ্রবণীয় নয় এমন কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব সাধারণ তুলাদণ্ডের সাহায্যে কিভাবে নির্ণয় করা যায়? ২+২+৪

৩। (ক) কার্য কাহাকে বলে? কার্যের সি. জি. এস. এককের সংজ্ঞা দাও। ব্যবহারিক এককে উহার মান কত? ২+২+২

(খ) অশ্বশক্তি ও কিলোওয়াট ঘণ্টা বলিতে কি বোঝায়? ৩+৩

(গ) একটি 0·25 অশ্বশক্তি মোটর 3 ঘণ্টা চালু রাখা হইল। কত সি. জি, এস. একক কাজ করা হইল? ৬

৪। (ক) পাস্কালের সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিতে কি বুঝায়?

(খ) একটি ফর্টিনের ব্যারোমিটারের বর্ণনা দাও। এই যন্ত্রের সাহায্যে কিভাবে বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় করা যায়? ৬+২

Group B (Answer *any two* questions)

৫। (ক) সেলসিয়াস, ফারেনহাইট ও পরম স্কেলে কোন বস্তুর উষ্ণতার মানগুলির মধ্যে সম্পর্কগুলি নিরুপণ কর। কোন বস্তুর উষ্ণতা ফারেনহাইট স্কেলে 122°F হইলে পরম স্কেলে উহার উষ্ণতা কত হইবে? ৬+৪

(খ) একটি কাচের মধ্যে পারদ থার্মোমিটারের নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর। ৬

৬। (ক) তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ। ৪

(খ) কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর। ৪

(গ) 0° ও 100° সেলসিয়াসে পারদের ঘনত্ব যথাক্রমে 13·6 গ্রাম/সি, সি ও 13·3 গ্র্যাম/সি. সি; এক্ষেত্রে পারদের গড় আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক কত? ৪

(ঘ) জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলিতে কি বুঝায়? ৪

৭। (ক) স্ফুটন ও বাষ্পীভবনের পার্থক্য আলোচনা কর।

(খ) তরলের স্ফুটনাঙ্ক তরলের উপরিস্থ চাপের উপর নির্ভরশীল—ইহা কিভাবে দেখাইবে?

(গ) শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা বিবৃত কর। ৬+৬+৪

৮। (ক) ভ্যাকুয়াম ফ্লাস্কের কার্যপ্রণালী একটি পরিষ্কার চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

(খ) সূর্য হইতে পৃথিবীপৃষ্ঠে তাপ কিভাবে আসিয়া পৌঁছায় আলোচনা কর।

(গ) রন্ধন পাত্রের তলদেশ তামার এবং হাতল বেকেলাইটের দ্বারা নির্মিত হইলে সুবিধা হয় কেন? ৮+৫+৩

Group C (Answer *any two* questions)

৯। (ক) একটি সূচীছিদ্র ক্যামেরার গঠন বর্ণনা কর ও উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

(খ) একটি সমতল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের বৈশিষ্ট্য আলোচনা কর।

(গ) আলোকের পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ও সংকট কোণ বলিতে কি বুঝায়?

(ঘ) মরীচিকা কিভাবে সৃষ্ট হয়? (৩+২)+৩+৩+২+৩

১০। (ক) একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সংজ্ঞা লেখ। এই দূরত্ব সহজতম উপায়ে কিভাবে নির্ণয় করা যায়? ২+২

(খ) একটি বস্তুকে একটি সরু উত্তল লেন্স হইতে 60 সেন্টিমিটার দূরে রাখিলে প্রতিবিম্ব লেন্সটির অপরদিকে ফোকাস দূরত্বের তিনগুণ দূরত্বে গঠিত হয়। লেন্সটির ফোকাসদূরত্ব নির্ণয় কর। ৪

(গ) চুম্বক মেরু কাহাকে বলে? উহাদের ধর্ম কি? ২+৩

(ঘ) একখণ্ড কাঁচা লোহা নিকটস্থ চুম্বক দ্বারা আবেশগ্রস্থ অবস্থায় গরম করিলে কি ঘটিবে? ৩

১১। (ক) ঘর্ষণের ফলে আধানের সৃষ্টি সহজ পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে দেখানো যাইতে পারে? অপরিবাহী কাহাকে বলে? বিদ্যুৎ অপরিবাহীর দুইটি উদাহরণ দাও। জল কি অপরিবাহী? ৩+২+২+১

(খ) একটি 1·5 ভোল্ট সেলের সহিত একটি বাতি ও একটি 10 ওহম রোধ সিরিজে যুক্ত করিলে দেখা যায় যে বর্তনীর প্রবাহ 120 mA। এখন রোধটির মান শূন্য করিলে বর্তনীর প্রবাহ 500 mA দাঁড়াইল। বাতির রোধ কতটা পরিবর্তিত হইল? এই রোধের পরিবর্তন কিভাবে ব্যাখ্যা করা যায়? ৫+৩

১২। নিম্নলিখিত যে-কোন দুইটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও ঃ

(ক) স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র, (খ) বৈদ্যুতিক ঘন্টা, (গ) গ্যালভ্যানোমিটার—উহাদের শ্রেণী ও ব্যবহার, (ঘ) তড়িৎ প্রলেপন।

মাধ্যমিক পরীক্ষা ১৯৮৮

Group A (Answer *any two* questions)

1. (a) নিউটনের প্রথম গতিসূত্রের ভিত্তিতে বলের সংজ্ঞা দাও। 4

(b) ভরবেগ বলিতে কি বুঝ? ইহার সি. জি. এস ও এম. কে. এস্. এককগুলি লেখ। 2+2

(c) কোন একটি স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 980 cm/sec^2। একটি বস্তুকে 2 সেকেণ্ডের মধ্যে উল্লম্বভাবে 98 মিটার উচ্চতায় পাঠাইতে বস্তুটির কত প্রাথমিক বেগ প্রদান করিতে হইবে? যদি এই বেগকে দ্বিগুণ করা হয় তাহা হইলে বস্তুটি কতদূর পর্যন্ত উঠিবে? 8

2. (a) আর্কিমিডিসের নীতি বিবৃত কর ও এই নীতি কিভাবে পরীক্ষা করা যায় বর্ণনা কর। 6

(b) ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা লেখ ও ইহাদের এককগুলি লেখ। 6

(c) জল অপেক্ষা ঘনত্ব বেশী এমন পদার্থ দ্বারা গঠিত একটি নিরেট গোলকের ব্যাস সাধারণ তুলাদণ্ডের সাহায্যে কিভাবে নির্ণয় করা যায়? 4

3. (a) ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও ও উহার এম্. কে. এস্. এককটি লেখ। 4

(b) অশ্বক্ষমতা কাহাকে বলে? 10 কিলোওয়াট ক্ষমতা কত অশ্বক্ষমতার সমান? 2+4

(c) একটি স্থির বস্তুকণার উপর একটি নির্দিষ্ট বল 5 সেকেণ্ড ধরিয়া প্রযুক্ত হইবার পর তাহার ভরবেগ ও গতিশক্তি হয় যথাক্রমে 1000 gm cm/sec ও 5000 eg। বস্তুকণাটির ভর ও বলটির মান কত?

4. (a) বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিতে কি বুঝায়? বিভিন্ন স্থানে এই চাপ বিভিন্ন হইবার হেতু কি কি? 6

(b) বয়েলের সূত্রটি লেখ ও ব্যাখ্যা কর। 4

(c) চিত্র সহকারে একটি সংনমক পাম্পের বর্ণনা দাও। 6

Group B

(Answer *any two* questions)

5. (a) তাপ কি? ইহার সহিত উষ্ণতার পার্থক্য কি? 2

(b) একটি ক্লিনিকাল থার্মোমিটারের বর্ণনা দাও। সাধারণ পারদ থার্মোমিটার ও ক্লিনিকাল বা থার্মোমিটারের মধ্যে প্রভেদ কি? 4+2

(c) গলনাঙ্ক বলিতে কি বুঝায়? বরফের গলনাঙ্ক ফারেনহাইট ও চরম স্কেলে কত? 2+2

(d) চার্লসের সূত্র বিবৃত কর। কিরূপ গ্যাসের ক্ষেত্রে এই সূত্র প্রযোজ্য নহে?

6. (a) কোন বাষ্প সংপৃক্ত কি না তাহা কিভাবে বোঝা যায়? 'সংপৃক্ত বাষ্পের ক্ষেত্রে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য নহে' ইহা পরীক্ষাগারে কিভাবে দেখাইবে? 2+5

(b) তরলের উপরিস্থ চাপ ও স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক কি? প্রেসারকুকারের কার্যনীতি লেখ। 2+3

(c) আপেক্ষিক আর্দ্রতা কাহাকে বলে? 2

(d) কুয়াশার সৃষ্টি কিভাবে হয়? 2

7. (a) জলসম, তাপগ্রাহিতা ও ক্যালরির সংজ্ঞা লেখ। 6

(b) লীনতাপ বলিতে কি বুঝ? উহা কয় প্রকারের ও কি কি? বিভিন্ন প্রকার লীন তাপের সংজ্ঞাগুলি লেখ। 3+3+4

8. (a) তাপ বিকিরণ বলিতে কি বুঝায়? বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপক্ষয় কি উপায়ে হ্রাস করা যায়? 3+3

(b) তরলের মধ্যে তাপের সঞ্চালন মুখ্যত কি উপায়ে হয়? পরীক্ষা দ্বারা ইহা কি ভাবে দেখানো যায়? 6

(c) তাপের সুপরিবাহী বলিতে কি বুঝায়? রৌদ্রে রাখা ধাতুখণ্ড ও কাঠখণ্ডের মধ্যে ধাতুখণ্ডটি বেশী তপ্ত মনে হয় কেন? 4

Group C

(Answer *any two* questions)

9. (a) চন্দ্রগ্রহণ কিভাবে হয়, চিত্র সহকারে ব্যাখ্যা কর। 6

(b) আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলি লেখ। 4

(c) প্রিজমের দ্বারা সাদা আলোর সদবর্ণালী কিভাবে পাওয়া যাইতে পারে বর্ণনা কর। 6

10. (a) পরীক্ষাগারে একটি সরু উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কিভাবে নির্ণয় করা যায়, চিত্র সহকারে আলোচনা কর। 6

(b) একটি সরু উত্তল লেন্স হইতে $\frac{3}{2}$f দূরে উহার অক্ষের উপর রাখা একটি বস্তুর বিম্ব কোথায় সৃষ্ট হইবে? (f=ফোকাস দূরত্ব) 4

(c) চুম্বকের ধর্ম কি? একটি স্থায়ী চুম্বকের বর্ণনা দাও। কিভাবে ইহার চুম্বকত্ব নষ্ট করা যায়? 2+2+2

11. (a) স্থির বিদ্যুৎ কি কি ভাবে সৃষ্টি করা যায় আলোচনা কর। স্থির বিদ্যুৎ কয় প্রকারের? ইহাদের ধর্ম কি? 4+2+2

(b) বিদ্যুৎ প্রবাহ বলিতে কি বুঝ? কোন পরিবাহীতে কোন অবস্থায় বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটিবে? 2+1

(c) একটি বর্তনীতে 2·0 volt-এর কোষ, একটি 100 ওহমের রোধ ও একটি অজানা মানের রোধ শ্রেণী সজ্জায় থাকিলে বর্তনীতে 0·01 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ চলিতে থাকে। কোষটির কোন আভ্যন্তরীণ রোধ নাই ধরিয়া অজানা রোধটির মান নির্ণয় কর। এই অবস্থায় বর্তনীতে কি হারে শক্তি রূপান্তরিত হইতেছে? 3+2

12. (a) নিম্নলিখিত যে-কোনও দুইটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও: 8×2

(a) সীসা সঞ্চয়ক কোষ।
(b) তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া ও উহার প্রয়োগ।
(c) তড়িৎ চুম্বক।
(d) বজ্রপাত ও বজ্রআকর্ষক দণ্ড।

মাধ্যমিক পরীক্ষা, ১৯৮৯

Group 'A'

(Answer any two questions)

1. (*a*) $P = mf$ সম্বন্ধটি প্রমাণ কর। সি. জি. এস. এবং এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে বলের এককগুলি লিখ এবং সংজ্ঞা লিখ। পাউণ্ডাল ও ডাইনের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(*b*) সংজ্ঞা লিখ :—বেগ এবং ত্বরণ।

(*c*) মসৃণ জমির উপর 10 পাউণ্ড ভরের একটি বস্তু রাখা আছে। যদি 96 পাউণ্ডাল মানের কোন বল ইহার উপর 10 সেকেণ্ড ধরিয়া কাজ করিয়া থাকে তাহা হইলে বস্তুটি 20 সেকেণ্ডে কত দূরত্ব অতিক্রম করিবে? [Ans. 1440 ft.]

2. (*a*) কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·8 হইলে উহার ঘনত্ব সি. জি. এস. ও এফ. পি. এস. এককে কত হইবে? [7·8 gm/cc. ; 7·8 × 62·5lb/cuft.]

(*b*) বস্তুর ভাসনের সাম্য কাহাকে বলে? "ভাসমান বস্তুর কোন ওজন নাই"—উক্তিটির ব্যাখ্যা কর। কোন অসম বস্তুর আয়তন ও ঘনত্ব আর্কিমিডিসের সূত্রের সাহায্যে কিভাবে নির্ণয় করা যায়?

(*c*) তরলের অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে চারিদিকে সমান চাপ ক্রিয়াশীল, ইহা পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ কর।

(*d*) সমুদ্রের তলদেশ যেখানে গভীরতা 4320 ফুট, সেইস্থানে জলের চাপ নির্ণয় কর। (সমুদ্রজলের আপেক্ষিক গুরুত্ব=1·03 বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব=62·4 পাঃ/ঘনফুট)। [Ans. 27765501 পাউণ্ড / বর্গফুট]

3. (*a*) ব্যাখ্যা সহকারে বয়েলের সূত্র লিখ। কোন গ্যাসের ঘনত্বের সহিত উহার চাপের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(*b*) একটি হ্রদের তলদেশে যেখানে গভীরতা 238 ফুট সেইখানে 1 মি.মি. ব্যাসযুক্ত একটি বায়ুর বুদবুদ গঠিত হইল। বুদবুদটি যখন জলতলের উপর পৌঁছায় তখন উহার ব্যাস কত হইবে যদি জলের তাপমাত্রা সর্বত্র সমান এবং জল-ব্যারোমিটারের উচ্চতা=34 ফুট হয়? [Ans. 2mm.]

(*c*) চিত্রসহ একটি সাধারণ টিউবওয়েল পাম্পের গঠন ও কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। উত্তোলক পাম্পের সহিত ইহার পার্থক্য বর্ণনা কর।

4. (*a*) কার্য বলিতে কি বোঝায়? কখন বলের দ্বারা এবং কখন বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হয়?

(*b*) ঘর্ষণবিহীন আনুভূমিক তলে 50 কিলোগ্রাম ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুকে একবার 10 মিটার এবং আর একবার 20 মিটার টানা হইল। কোনক্ষেত্রে কৃত কার্য বেশী হইল? যুক্তিসহ উত্তর দাও। [দ্বিতীয় ক্ষেত্রে]

(*c*) একটি লোক হাতে একটি ভারী বস্তু লইয়া লিফ্‌ট চড়িয়া উপরে উঠিতেছে। লোকটি বস্তুটির উপর কোন কার্য করিতেছে কি ? বস্তুটির শক্তির কোন পরিবর্তন হইবে কি ? ব্যাখ্যাসহ উত্তর লিখ।

(*d*) কোন বস্তুর গতিশক্তি বলিতে কি বোঝায় ? এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে ইহার একক কি ?

(*e*) কোন বস্তুর গতিশক্তি 1 জুল। ইহাকে 1 মেগাডাইন বল দ্বারা বাধা দেওয়া হইলে বস্তুটি স্থির হইবার পূর্বে কত দূরত্ব অতিক্রম করিবে ? [Ans. 10 cm]

Group 'B'

(*Answer any two questions*)

5. (*a*) সেলসিয়াস স্কেল এবং ফারেনহাইট স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর। থার্মোমিটারের ব্যবহার্য হিসাবে পারদের গুণাবলী বিবৃত কর।

(*b*) কোন্ তাপমাত্রায় ফারেনহাইট স্কেলের পাঠ সেলসিয়াস স্কেলের পাঠের দ্বিগুণ হইবে ? [Ans. F=320°]

(*c*) থার্মোমিটারের উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক এবং নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ধারণ করিবার সময় ব্যারোমিটারের পাঠ লইবার প্রয়োজন আছে কি ? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

(*d*) আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। আয়তন ও দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

6. (*a*) জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলিতে কি বোঝ ? হোপের পরীক্ষার সাহায্যে দেখাও যে 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ হইয়া থাকে।

(*b*) গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক কাহাকে বলে ? উহার মান কত ?

(*c*) উষ্ণতার পরম স্কেল বলিতে কি বুঝায় ? চার্লসের সূত্র হইতে এই স্কেলের ধারণা কিভাবে করা যায় ব্যাখ্যা কর।

7. (*a*) ক্যালরি এবং ব্রিটিশ থার্মাল এককের সংজ্ঞা লিখ এবং ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(*b*) আপেক্ষিক তাপ বলিতে কি বুঝায় ? ইহার সংজ্ঞা লিখ। ইহার কি একক আছে ?

(*c*) এক কিলোগ্রাম সীসাকে 0°C হইতে 10°C উষ্ণ করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহার দ্বারা তিন কিলোগ্রাম তামাকে 0°C হইতে 10°C উষ্ণ করা যায়। তামার আপেক্ষিক তাপ 0·093 হইলে সীসার আপেক্ষিক তাপ কত হইবে ? [Ans. 0·279]

(*d*) হাত পা গরম রাখিবার জন্য কোন্‌টি বেশী পছন্দ করিবে—100°C উষ্ণতাবিশিষ্ট জল ভর্তি রবারের ব্যাগ অথবা 100°C উষ্ণতাবিশিষ্ট সমওজনের লৌহখণ্ড ? যুক্তিসহকারে উত্তর দাও। (লোহার আপেক্ষিক তাপ=0·11)। [Ans. জল]

8. (*a*) স্ফুটন কাহাকে বলে ? বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের মধ্যে পার্থক্য কি ?

(*b*) পুনঃশিলীভবন দেখাবার জন্য বটমলীর পরীক্ষাটি বর্ণনা কর এবং পরীক্ষার ফলাফল ব্যাখ্যা কর।

(*c*) কিছু উত্তপ্ত জলসহ একটি তামার ক্যালরিমিটার উন্মুক্ত অবস্থায় রাখা আছে। ঐ ক্যালরিমিটার কি কি উপায়ে তাপ হারাবে তাহা লিখ এবং কি ব্যবস্থা গ্রহণ করিলে উক্ত পদ্ধতিগুলির দ্বারা তাপ নষ্ট হইবে না?

Group—C

(*Answer any to questions*)

9. (*a*) ছায়া কাহাকে বলে? প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়া কিভাবে তৈয়ারী হয়? ঘরের একটি জানালার ক্ষুদ্র ত্রিভুজাকৃতি ছিদ্র দিয়া আনুভূমিকভাবে সূর্যালোক প্রবেশ করিলে বিপরীত দেওয়ালে গোলাকৃতি আলোকচক্র দেখা যায়। ব্যাখ্যা কর।

(*b*) প্রমাণ কর যে একটি বিন্দু বিভব সমতল আয়নার যতটা সামনে থাকে ইহার অসদ্বিম্ব ঠিক ততটা পিছনে থাকে এবং বিন্দু ও প্রতিবিম্বের সংযোগী সরলরেখা আয়নার সঙ্গে লম্বভাবে থাকে।

(*c*) সমতল দর্পণে বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন ও পার্শ্ববিপর্যয় চিত্র সহযোগে দেখাও।

10. (*a*) আলোক রশ্মির প্রতিসরণ কাহাকে বলে? স্নেলের সূত্রটি ব্যাখ্যা সহকারে বিবৃত কর। জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·33 ব্যাখ্যা কর।

(*b*) অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন কাহাকে বলে উদাহরণসহ বুঝাইয়া দাও। ইহার শর্তগুলি লিখ।

(*c*) অভিসারী লেন্সের মুখ্য ফোকাসের সংজ্ঞা দাও।

(*d*) 1 সেমি. উচ্চ একটি বস্তু একখানি পাতলা লেন্স হইতে 20 সেমি. দূরে রাখায় 3 সেমি. উচ্চ একটি সদ্‌প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। লেন্সখানি কি রকমের এবং এর ফোকাস দূরত্ব কত? [Ans. 15 cm.]

11. (*a*) চৌম্বক আবেশ কাহাকে বলে? আবেশ কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভরশীল?

(*b*) স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের ভিতর ধাতব পাতের কার্যকারিতা কি?

(*c*) কোন আহিত এবোনাইটের দণ্ডকে একটি অনাহিত তড়িৎবীক্ষণের চাকতির সংস্পর্শে আনা হল। বীক্ষণ পাত দুইটি বিস্ফারিত হল। এবোনাইটের দ

এইবার সরাইলে পাত দুইটির ফাঁক সামান্য কমিয়া যাইবে। কেন এইরূপ হইল ব্যাখ্যা কর।

(*d*) স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটিকে আবেশ প্রক্রিয়ার দ্বারা কিভাবে ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করা যায় বর্ণনা কর।

(*e*) কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর চুম্বকত্বের বিনাশ নির্ভরশীল ?

12. (*a*) সরলভোল্টীয় কোষের ত্রুটিগুলি আলোচনা কর। ইহাদের প্রতিকারের উপায় কি ? কোন তড়িৎকোষের তড়িৎচালক বলের মান কিসের উপর নির্ভর করে ?

(*b*) চলকুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

(*c*) তড়িৎ বিশ্লেষণের দুইটি ব্যবহারিক প্রয়োগের বর্ণনা দাও।